



## Diplomová práce

# Vliv množství maziva na rozvoj deformace při tažení výlisku

*Studijní program:*

N0715A270015 Materiály a technologie

*Autor práce:*

**Bc. Adam Kaprál**

*Vedoucí práce:*

doc. Ing. Pavel Solfronk, Ph.D.

Katedra strojírenské technologie

*Konzultant práce:*

Ing. Jiří Sobotka, Ph.D.

Katedra strojírenské technologie

Liberec 2024



## Zadání diplomové práce

# Vliv množství maziva na rozvoj deformace při tažení výlisku

*Jméno a příjmení:*

**Bc. Adam Kaprál**

*Osobní číslo:*

S22000217

*Studijní program:*

N0715A270015 Materiály a technologie

*Zadávací katedra:*

Katedra strojírenské technologie

*Akademický rok:*

2023/2024

## Zásady pro vypracování:

1. Materiály používané pro hluboké tažení v automobilovém průmyslu a jejich povrchové úpravy. Princip technologie tažení (konvenční a nekonvenční metody tažení). Tribologické procesy při hlubokém tažení.
2. Metody bezkontaktní analýzy deformace, základy fotogrammetrie.
3. Pro zvolené hlubokotažné materiály provést experimentální zjištění vlivu množství maziva na rozvoj deformace při tažení výlisku polokulovým tažníkem.
4. Statistické vyhodnocení.
5. Diskuze a závěr.



*Rozsah grafických prací:* obrázky, tabulky, grafy  
*Rozsah pracovní zprávy:* cca 50 stran  
*Forma zpracování práce:* tištěná/elektronická  
*Jazyk práce:* čeština

### **Seznam odborné literatury:**

- [1] DAVIES, Geoffrey. Materials for Automobile Bodies. B.m.: Butterworth-Heinemann, 2012. ISBN 978-0-08-096979-4.
- [2] LUHMANN, Thomas, Stuart ROBSON a Stephen KYLE, ed. Close-range photogrammetry: principles, methods and applications. Dunbeath: Whittles, 2006. ISBN 978-1-870325-50-9.
- [3] NEUBAUER, Jiří, Marek SEDLAČÍK a Oldřich KŘÍŽ. Základy statistiky: aplikace v technických a ekonomických oborech. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-5786-5
- [4] ASHBY, M. F. Materials selection in mechanical design. 3rd ed. Amsterdam ; Boston: Butterworth-Heinemann, 2005. ISBN 978-0-7506-6168-3.
- [5] MARQUARD, Elizabeth a Heather LAMPMAN. ASM Handbook, Volume 14B: Metalworking: Sheet Forming. B.m.: ASM International, 2006. ISBN 0-87170-710-1.

*Vedoucí práce:* doc. Ing. Pavel Solfronk, Ph.D.  
Katedra strojírenské technologie

*Konzultant práce:* Ing. Jiří Sobotka, Ph.D.  
Katedra strojírenské technologie

*Datum zadání práce:* 6. listopadu 2023  
*Předpokládaný termín odevzdání:* 6. května 2025

L.S.

doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.  
děkan

doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.  
garant studijního programu

V Liberci dne 6. listopadu 2023

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má diplomová práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

**Název práce**

Vliv množství maziva na rozvoj deformace při tažení výlisku.

**Anotace**

Diplomová práce se zabývá vlivem množství maziva na rozvoj deformace při tažení výlisku. Tažení plechu je provedeno pomocí polokulového tažníku a deformace vyhodnocena pomocí fotogrammetrické metody. Rozvoj deformace je zkoumán a zpracován v softwaru GOM Correlate od firmy Zeiss, odkud jsou výsledné hodnoty vyexportovány do softwaru Microsoft Excel, kde jsou sestrojeny grafy a vypočítány konečné výsledky experimentu.

Klíčová slova: materiály v automobilovém průmyslu, tažení plechu, mazivo, fotogrammetrie, tribologické procesy

**Title**

The influence of the amount of lubricant on the development of deformation during sheet metal forming.

**Annotation**

The master's thesis deals with the influence of the amount of lubricant on the development of deformation during extrusion drawing. The sheet metal drawing is carried out using a hemispherical punch and the deformation is evaluated using photogrammetric method. The development of deformation is analyzed and processed in GOM Correlate software by Zeiss, from which the resultant values are exported to Microsoft Excel, where graphs are constructed and the final results of the experiment are calculated.

Key words: materials in the automotive industry, sheet metal drawing, lubricant, photogrammetry, tribological processes

## **Poděkování**

Poděkování bych chtěl především směřovat k doc. Ing. Pavlu Solfronkovi, Ph.D. za vedení, pomoc a věcné připomínky při vypracování diplomové práce a také k Ing. Jiřímu Sobotkovi, Ph.D. za konzultaci a řešení diplomové práce. Dále bych chtěl také poděkovat svým rodičům za trpělivost, podporu a vytvoření ideálních podmínek pro studium po celou dobu studijních let.

# Obsah

Obsah .....	8
1. Úvod .....	11
2. Teoretická část .....	12
2.1 Materiály pro hluboké tažení v automobilovém průmyslu .....	12
2.1.1 Oceli využívané v automobilovém průmyslu .....	12
2.1.2 Hliník využívaný v automobilovém průmyslu .....	19
2.1.3 Hořčík využívaný v automobilovém průmyslu .....	19
2.2 Princip technologie tažení .....	20
2.2.1 Konvenční metody .....	21
2.2.2 Nekonvenční metody .....	25
2.3 Tribologické procesy při hlubokém tažení .....	29
2.3.1 Tribologie .....	29
2.3.2 Tření .....	30
2.3.3 Opatření .....	32
2.3.4 Mazání .....	33
2.4 Základy fotogrammetrie .....	34
2.5.1 Metody bezkontaktní analýzy deformace .....	34
2.5.2 Úvod do fotogrammetrie .....	35
3. Experiment .....	38
3.1 Experimentální zjištění mechanických vlastností materiálu .....	39
3.1.1 Příprava vzorků .....	39
3.1.2 Zkouška tahem .....	40
3.2 Experimentální zjištění vlivu množství maziva při tažení plechu .....	41
3.1.1 Příprava vzorku pro tažení .....	41
3.1.2 Vyhodnocení průběhu deformace v softwaru GOM .....	52
3.1.3 Statistické vyhodnocení .....	66

4. Diskuze výsledků.....	68
5. Závěr.....	70
Literatura.....	71
Seznam příloh.....	75

## Seznam zkratk a symbolů

<b><math>A_{80mm}</math></b>	-	tažnost	[%]
<b><math>A_g</math></b>	-	homogenní tažnost	[%]
<b>DP</b>	-	DualPhase – dvoufázová ocel	
<b><math>E</math></b>	-	modul pružnosti v tahu	[MPa]
<b>EG-PH</b>	-	značení povrchové úpravy materiálu	
<b><math>F</math></b>	-	testovací kritérium	[-]
<b><math>F_{krit}</math></b>	-	kritická hodnoty testovacího kritéria	[-]
<b>L1</b>	-	vzdálenost od vrcholu	[mm]
<b>L2</b>	-	vzdálenost od vrcholu	[mm]
<b><math>R_m</math></b>	-	mez pevnost v tahu	[MPa]
<b><math>R_{p0,2}</math></b>	-	smluvní mez kluzu	[MPa]
<b><math>\varphi_3</math></b>	-	změna tloušťky	[mm]



## 1. Úvod

V dnešní době, kdy trendem několika posledních let jsou zvýšené nároky na environmentální rozvoj, které ve velké míře zasahují automobilový průmysl, je v této oblasti průmyslu kladen velký důraz na snižování objemu použitého materiálu. To s sebou přináší velkou řadu změn v každém procesu výroby automobilu. Ať už to znamená změnu či úpravu výrobní technologie nebo výměnu či redukci objemu použitého materiálu. Pro výrobu karosérie automobilu jsou pak zásadní požadavky na udržitelnost technologie tváření plechu, kde je snaha zvýšit životnost nástrojů. Jedním parametrem, který ovlivňuje průběh tváření je použití maziva, které snižuje tření mezi plechem a nástrojem. Tím pádem dochází nejen k zefektivnění procesu tváření, ale také ke snížení opotřebení nástroje.

Firma **Škoda auto a.s.**, která se zabývá výrobou automobilů, přišla se zadáním této diplomové práce, a to konkrétně se zjišťováním vlivu množství použitého maziva při tažení plechu karosérie automobilu. Při procesu tažení plechu je požadavek na používání co nejmenšího možného množství maziva, aby nedocházelo k ovlivňování dalších následujících procesů po tažení, jako je například lepení nebo hlavně také lakování.

Pro zjištění průběhu tváření a zkoumání deformace se v dnešní době používají moderní metody bezkontaktní analýzy deformace, které dokážou dokonale zachytit celý proces a převést ho do počítačového softwaru. Jeden takový poskytuje firma Zeiss s názvem GOM Correlate, u kterého se jedná o zkoumání průběhu deformace fotogrammetrickou metodou. Systém svou kamer zachytí ve velkém množství snímků celý průběh tváření a převede ho do prostředí softwaru, kde lze následně celý záznam vyhodnotit. Potřeba je nasimulovat celý průběh tváření, který bude zároveň zaznamenán pomocí kamer, a nakonec vyhodnocen dle zadaných požadavků.

Cílem diplomové práce je zjištění, zda množství maziva na povrchu plechu ovlivňuje průběh a rozložení deformace na testovaném vzorku. Pro testy byla zvolena metoda vypínání polokulovým tažníkem při použití dvou hlubokotažných materiálů s různou povrchovou úpravou a to EG+PH (elektrolytické pozinkování a fosfátování) a ZM (povrchová ochranná vrstva zinek-hořčík nanášená žárovým ponorem). Rozložení deformace bylo zjišťováno bezkontaktní fotogrammetrickou metodou.

## 2. Teoretická část

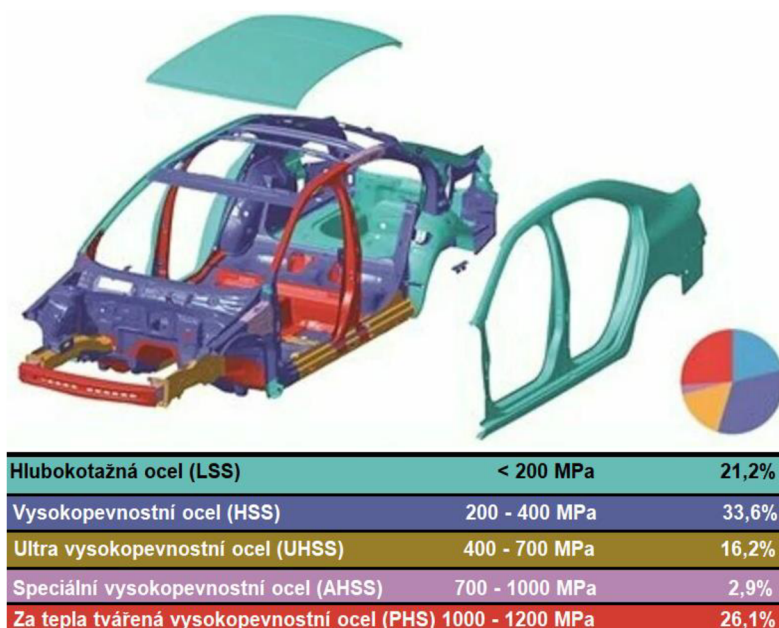
### 2.1 Materiály pro hluboké tažení v automobilovém průmyslu

Důležitým odvětvím v oblasti automobilového průmyslu je výroba pohledové části automobilu neboli karosérie. Samotná výroba této části vozidla probíhá pomocí technologie hlubokého tažení, kde se z rovného plechu lisují tvarové díly automobilu. Pro tuto technologii je však třeba zvolit nejvhodnější typ materiálu, což přináší do této problematiky mnohá úskalí, ale také spoustu možností a typů materiálů. Potřeba je zvolit takový materiál, aby se co nejvíce využilo jeho mechanických vlastností, např. pevnosti, a to při co nejmenší hmotnosti finálního dílu. Dalšími parametry částí karosérie jsou pak tloušťka plechu, tepelné zpracování nebo také povrchová úprava. Tyto aspekty vytváří tlak především na oblast materiálů, kdy je potřeba zvolit ten nejvhodnější.

Pro tažení plechu v automobilovém průmyslu se nejvíce využívají různé typy ocelí, dále pak hliníkové slitiny, základní slitiny chromu a niklu, slitiny zinku, a také slitiny mědi. Jejich využití pak závisí na dané části vozidla, kde jsou maximálně využity jejich vlastnosti.[1–3]

#### 2.1.1 Oceli využívané v automobilovém průmyslu

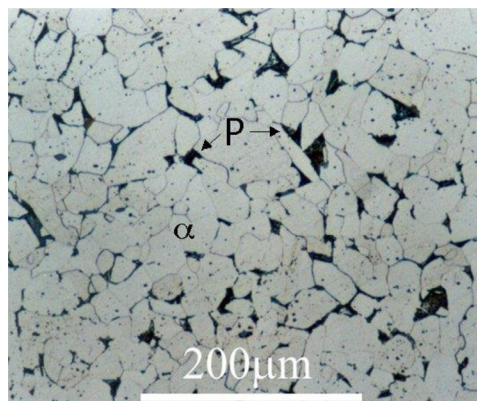
Použití ocelí v automobilovém průmyslu hraje velikou roli, kde je hojně využíváno jejich vlastností, které jsou v dnešní době nenahraditelné. Jedná se především o dobré mechanické vlastnosti, což je pevnost a také schopnost materiálu podstoupit tvářecí procesy. Z těchto důvodů jsou proto použity na automobilu různé typy ocelí, které mají odlišné složení, a tudíž také různé hodnoty meze kluzu, viz (Obr. 1). [1–3]



Obr. 1 Hodnoty meze kluzu u ocelí v automobilu. [2]

## Nízkouhlíkové oceli

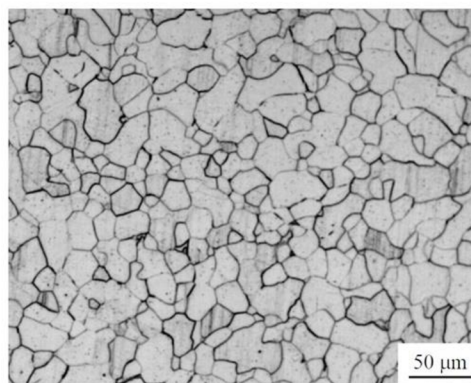
Nízkouhlíkové oceli používané v automobilovém průmyslu pro hluboké tažení jsou oceli s maximálním procentem uhlíku 0,022 %, viz (Obr. 2). Tyto oceli jsou navrženy tak, aby i při nižší pevnosti byla dosažena lepší plasticita tvářeného kovu. To znamená, aby tvářecí procesy mohly probíhat za ideálních podmínek. Díky těmto vlastnostem je využití těchto ocelí v automobilovém průmyslu velice rozšířené, a to především pro výrobu karosérie vozidla (kapota, dveře, ...). Využití ocelí je však i pro jiné různé tvarové součásti jako například nosníky, trubky nebo pro ruční náradí. [2, 4]



*Obr. 2 Metalurgie nízkouhlíkové oceli. [5]*

## IF oceli (Interstitial free steels)

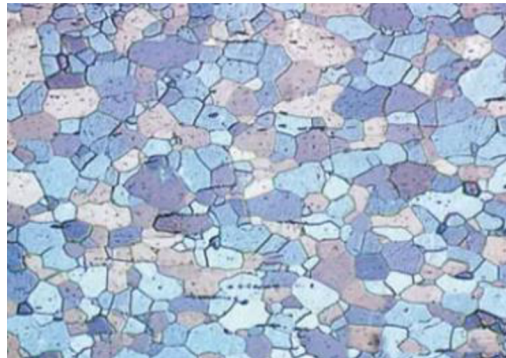
Jedná se o speciální typ oceli s nízkým obsahem intersticiálních atomů ve struktuře, což znamená, že ocel neobsahuje atomy, které by ocel zpevňovaly. Díky této struktuře oceli dosahují velmi vysoké tažnosti, a proto se hojně využívají při hlubokém tažení karosérií v automobilovém průmyslu. IF oceli mají feritickou matici, viz (Obr. 3) a jsou doplněny prvky jako jsou Ti nebo Nb, které mají vliv na snížení obsahu C a N na nízké hodnoty. Snížení obsahu těchto prvků způsobuje zvýšení tažnosti. Tento typ ocelí je odolný proti stárnutí. Využití IF ocelí je pro nárazníky, blatníky, dveře, kapota a další části automobilu. [1–3]



*Obr. 3 Metalurgie IF oceli. [6]*

### **IF – HS oceli (Interstitial free – high strength)**

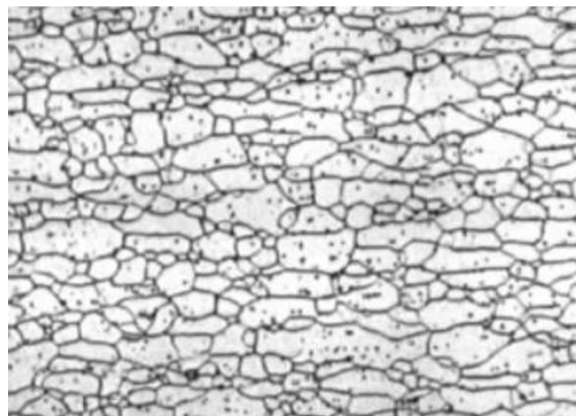
IF – HS oceli jsou za studena válcované žíhané oceli s precipitáty Fe, Ti, P čímž jsou zpevňovány. Tyto oceli mají feritickou matici, viz (Obr. 4) a mají nízký poměr mezi mezi pevnosti  $R_m$  a mezi kluzu  $R_{p0,2}$ . Dále je charakterizuje vysoký exponent deformačního zpevnění, který ukazuje vysokou hlubokotažnost. Využití těchto ocelí je zejména pro složité součásti, u kterých vyžadujeme vysokou pevnost. [1–3]



*Obr. 4 Metalurgie IF-HS oceli. [7]*

### **HSLA mikrolegované oceli (High strength low alloy)**

HSLA oceli jsou vysokopevnostní nízkolegované oceli, které obsahují malé množství uhlíku (méně než 0,1 % C) a také malé množství dalších legujících prvků (V, Ti, Nb), viz (Obr. 5). Tyto mikrolegující prvky pomáhají ke zpevnění oceli. Vyrábí se jak válcováním za studena, tak i za tepla. Mikrolegující prvky také přispívají k zjemnění zrna, což způsobí zvýšení pevností. Využití tohoto typu ocelí bylo nejprve pro výrobu plynovodů a ropovodů, ale v pozdější době je jejich použití přesunulo i do automobilového průmyslu, kde se využívají jako výztuže dveří, nárazníků či některých dílů podvozku. Při porovnání HSLA ocelí a běžných uhlíkových ocelí se dostáváme na o 20-30 % menší hmotnost u HSLA ocelí při zachování stejné pevnosti. [1–3]

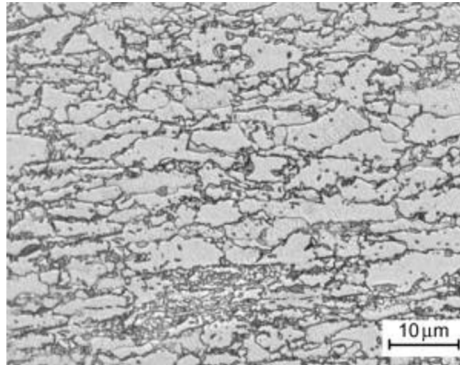


*Obr. 5 Metalurgie HSLA oceli. [8]*



### **BH oceli (Bake – hardening)**

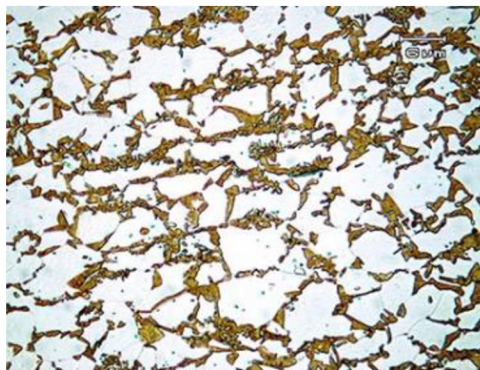
BH oceli, viz (Obr. 6), jsou oceli, u kterých nastává zpevnění stárnutím během ohřevu například katoфорézy. To znamená zpevnění pomocí tepelné zátěže vlivem lakování ( $170\text{ }^{\circ}\text{C} + 20\text{ min}$  výdrž na teplotě). Celý proces je založen na stabilizaci dislokací, a to za pomoci intersticiálních atomů C a N. BH oceli se využívají v automobilovém průmyslu pro díly dveří, střech, kufru nebo nárazníků. U dílu z tohoto typu oceli nedochází při tváření k významnému zpevnění a BH efekt zvyšuje tuhost dílů. [1–3]



*Obr. 6 Metalurgie BH oceli. [9]*

### **DP oceli (DualPhase)**

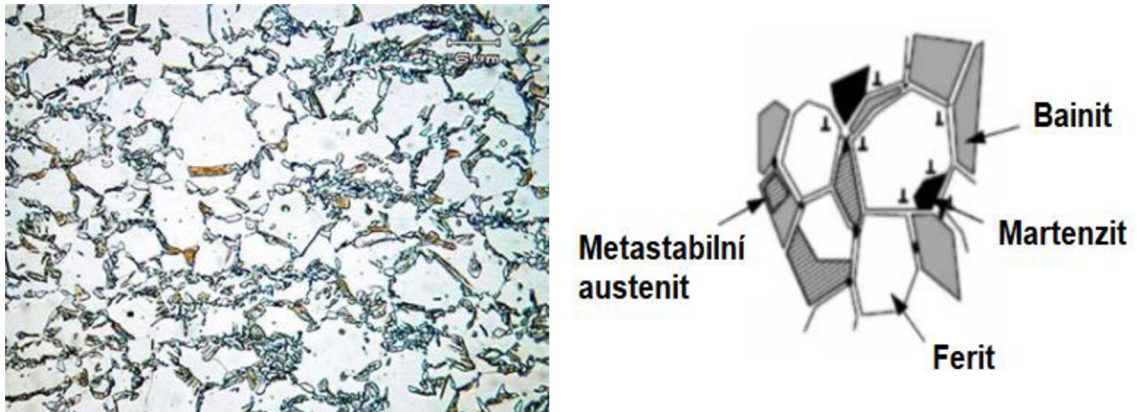
DP oceli jsou oceli, které jsou charakteristické svojí strukturou, a to konkrétně měkkou feritickou maticí ve které se vyskytují tvrdé martenzitické ostrůvky, viz (Obr. 7). Díky této struktuře dosahují tyto oceli velké pevnosti a tažnosti. Ke zvýšení meze kluzu po tváření dochází kvůli schopnosti vysokého mechanického zpevnění. Oceli obsahují prvky jako jsou Mn, Cr, Mo a V. DP oceli mají zvýšenou pevnost také díky BH efektu, jako u BH ocelí. Tento typ ocelí je vhodný pro konstrukční a bezpečnostní prvky automobilu, jelikož je schopen výborně absorbovat energii a má dobrou odolnost proti únavovému namáhání. Jejich využití je pak pro A, B, C a D sloupky, prahy dveří, boční rámy, či výztuže střech. [1–3, 10]



*Obr. 7 Metalurgie DP oceli. [11]*

## TRIP oceli (TRansformation-Induced Plasticity)

TRIP oceli jsou charakteristické svou feritickou matricí, ve které se nachází ostrůvky zbytkového austenitu. Tyto ostrůvky austenitu se v průběhu tvářecího procesu mění na martenzit a dochází k tzv. TRIP efektu (přeměna zbytkového austenitu na martenzit), viz (Obr. 8). [2, 3, 10, 12]



*Obr. 8 Struktura TRIP oceli. [13]*

Díky transformační schopnosti dosahují TRIP oceli výborné kombinace pevnosti a tažnosti. Pevnost těchto ocelí dosahuje až 800 MPa. Na rozdíl od DP ocelí obsahují více uhlíku, která stabilizuje netransformovaný zbytkový austenit. TRIP oceli také obsahují více Si, Al, Mn. V automobilovém průmyslu se používá hlavně pro bezpečnostní díly, z důvodu vysoké absorpce energie při nárazu, a také vysoké únavové pevnosti, která je získána díky kalení. Ocel se používá pro příčné a podélné nosníky vozidla, výztuhy B sloupku a nárazníky, viz (Obr. 9). [2, 3, 10, 12]



*Obr. 9 Použití TRIP oceli v automobilu. [12]*

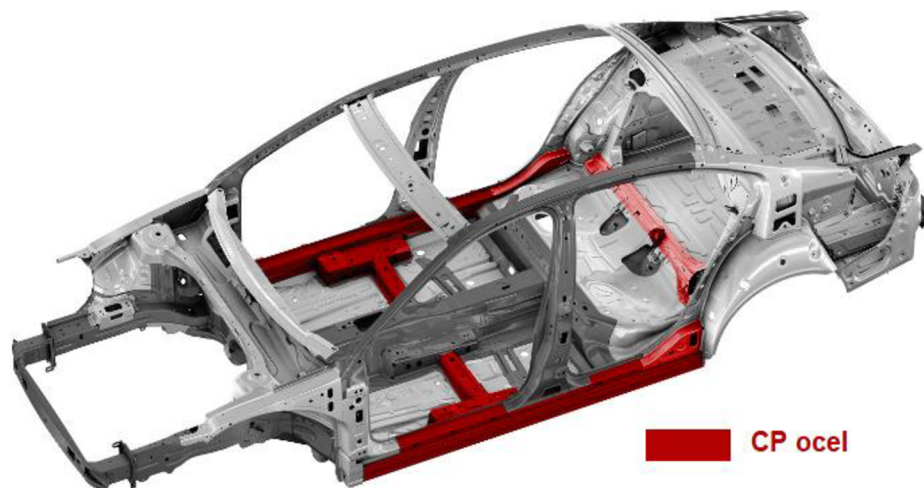
## CP oceli (Complex Phase)

CP oceli jsou tvořeny mikrostrukturou, která obsahuje matrici tvořenou feritem společně s bainitem, v níž se objevují části martenzitu, zbytkového austenitu a popřípadě perlitu, viz (Obr. 10). Pro dosažení jemnozrné struktury se využívá pomalé rekrystalizace nebo také pomocí precipitace prvků jako jsou Ti nebo Nb.



*Obr. 10 Metalurgie CP oceli. [14]*

CP oceli se využívají v automobilovém průmyslu pro díly jednoduchých tvarů jako jsou lišty u dveří nebo příruby sedadel, viz (Obr. 11). [1–3, 12]

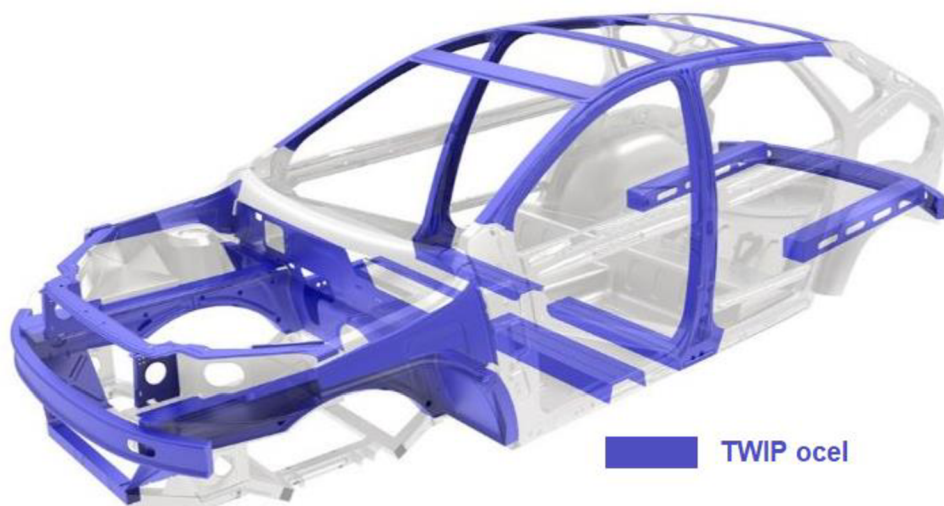


*Obr. 11 Použití CP oceli v automobilu. [12]*

## TWIP oceli (TWinning Induced Plasticity)

TWIP oceli mají austenitickou mikrostrukturu (velmi jemná struktura), kterou způsobuje vysoce obsažený mangan (17 až 14 %). Princip plastické deformace u TRIP ocelí probíhá na základě tzv. dvojčatění. Díky tomu má ocel velmi vysokou mez kluzu (400 MPa) a pevnost v tahu (více než 1000 MPa), při velmi dobré tažnosti (až 55 %). Tvářitelnost této oceli je lepší než u dílů vyráběných z TRIP oceli. Pro tyto mechanické vlastnosti se TWIP ocel využívá u bezpečnostních dílů automobilu, kde její použití stále roste. Při deformaci dílu dochází k velké spotřebě deformační energie, díky TWIP efektu, a proto se používá pro díly jako jsou plechy pro deformační zóny automobilu, B sloupky nebo boční výztuhy, viz (Obr. 12). [1–3, 15]

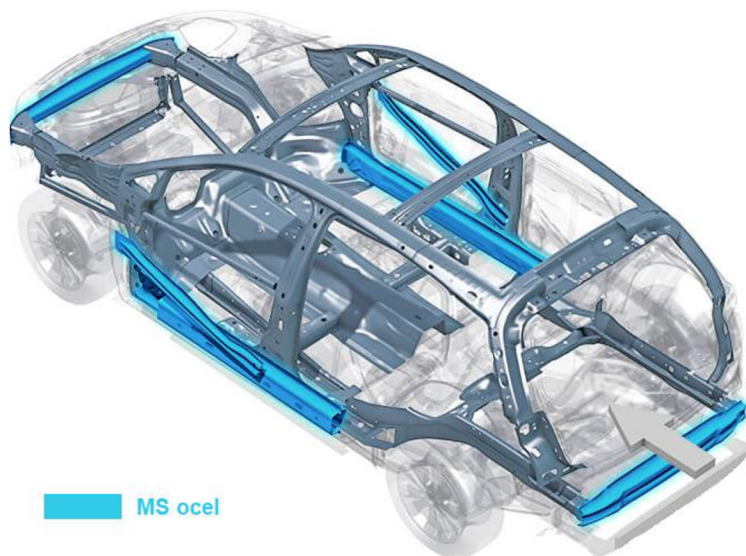




*Obr. 12 Použití TWIP oceli v automobilu. [16]*

### **MS oceli (Martensitic Steel)**

Při ochlazování u MS ocelí se bezmála celý austenit přemění na martenzit. Struktura také obsahuje malé množství feritu a bainitu. Samotné transformace na martenzit se dosahuje pomocí válcování za tepla a následném zakalení, dále na to navazuje žihání a opětovné zakalení. Díky zvýšenému obsahu uhlíku je dosaženo větší pevnosti a tvrdosti materiálu. Další prvky, které ocel obsahuje (Si, Cr, Mn), se zvyšuje její prokalitelnost. Vynikající mechanické vlastnosti dokládá nejvyšší hodnota meze pevnosti v tahu. Která dosahuje 1700 MPa. Pro zlepšení tvárnosti těchto ocelí se po zakalení ještě popouští, to vede k dobré tvářecí schopnosti při velkých pevnostech. Využití v automobilovém je pro bezpečnostní díly (přední a zadní nárazník, prahové výztuhy, výztuhy dveří, ...), díky větší odolnosti proti nárazům, viz (Obr. 13). [1–3]

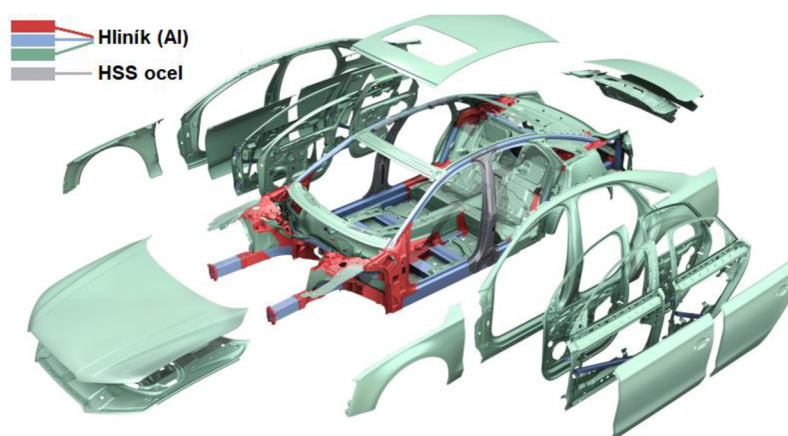


*Obr. 13 Použití MS oceli v automobilu. [17]*



### 2.1.2 Hliník využívaný v automobilovém průmyslu

Hliník jako materiál pro automobilový průmysl byl prvně použit na počátku 20. století, ale své větší zastoupení na trhu s vozidly si vydobyl až v posledních letech, kdy ho do popředí dostaly zvýšené nároky na současnou výrobu automobilů. Na počátku 90. let předchozího století společnost Audi vyrobila model A8, u kterého kompletně celá karosérie byla zhotovena z hliníku a jeho slitin. Hlavní výhodou této konstrukce byl výrazný pokles celkové hmotnosti automobilu, což vedlo ke snížení spotřeby paliva při jízdě a v návaznosti na to i ke snížení emisí vyprodukovaných automobilem. Hliník se tedy podařilo rozšířit do všech automobilových závodů a v dnešní době se stává nedílnou součástí všech aut, viz (Obr. 14). [1, 18, 19]



*Obr. 14 Hliník v automobilu Audi A8. [19]*

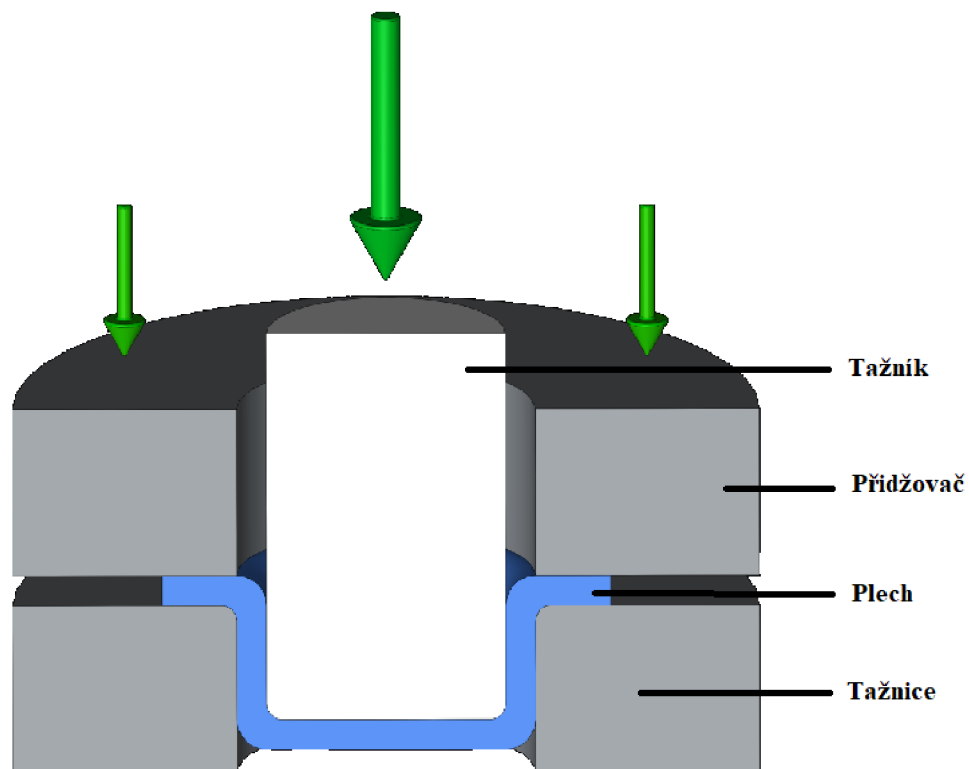
V posledních letech však při požadavcích na bezpečnost se některé hliníkové díly opět nahrazují ocelovými díly, které mají lepší mechanické vlastnosti. Při kombinaci hliníků a oceli se přesto dostáváme na dobré hodnoty hmotnosti vozidla. Použití oceli namísto hliníku nachází své uplatnění také u elektromobilů, kde je potřeba zvýšení tuhosti rámu z důvodu vyšší váhy baterií a dalších dílů týkajících se technologie elektromobility. [18, 19]

### 2.1.3 Hořčík využívaný v automobilovém průmyslu

Hořčík v automobilovém odvětví nachází své uplatnění díky dobrým mechanickým vlastnostem při jeho nízké hmotnosti. V dnešní době vlastností hořčíku využívá nejvíce automobilový závod Mercedes-Benz, kde se díly z hořčíku ve většině případů vyrábí technologií tlakového lití. Tato technologie je zatím výhodnější finančně než výroba dílů technologií hlubokého tažení, které zůstává ještě ve fázi vývoje. Hořčík je využíván pro díly jako je například stěna mezi palivovou nádrží a zavazadlovým prostorem, kde se u modelu SLK (Mercedes) snížila hmotnost z 6 kg na 3,2kg, což znamená skoro poloviční úsporu hmotnosti na dílu. [1, 20]

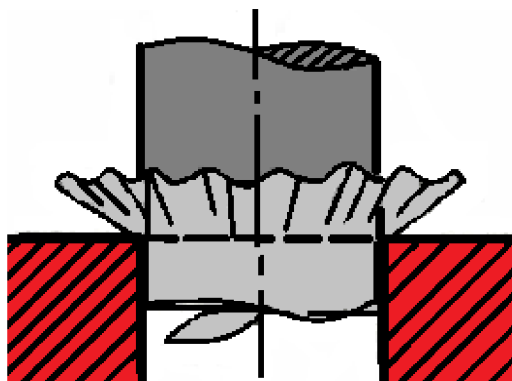
## 2.2 Princip technologie tažení

Technologie hlubokého tažení je způsob tváření, při kterém za pomoci jednoho nebo více tahů je vyrobeno z rovného plechu těleso dutého tvaru. Hlavní princip změny tvaru plechu je založen na působení tažníku na plech, který je tažen přes tažnou hranu tažnice, viz (Obr. 15). Dále se technologie rozděluje na tažení se ztenčením stěny nebo bez ztenčení stěny. Toho je využíváno při překročení kritických hodnot napětí, kdy může dojít k utržení dna výlisku. Proto je nutné upravit technologii například ztenčením stěny, využitím zpětného tažení, žlábkováním nebo rozšiřováním či zužováním. Dále je také nutné dávat pozor na vliv tření a zpevnění materiálu. [21, 22]



*Obr. 15 Princip technologie tažení. [23]*

Tažení je také doprovázeno přesunem objemu materiálu, což má vliv na vznik tzv. vlnění, viz (Obr. 16), ke kterému dochází v oblasti materiálu, který ještě nepřešel přes tažnou hranu. To má negativní vliv na plynulý přístup materiálu do tažnice. Z toho důvodu se využívá tzv. přidržovače, který zajistí přitlačení materiálu. Je však potřeba zvolit ideální přidržovací tlak, aby nedošlo k odtržení dna výlisku nebo naopak k vzniku vln pod přidržovačem. Tlak závisí na tloušťce materiálu, mechanických vlastnostech plechu nebo také na součiniteli tažení, který se skládá z hodnot jako jsou průměr výtažku, průměr přístřihu a stupni tažení. [21, 22]



*Obr. 16 Vznik vlnění plechu při tažení. [22]*

Technologie hlubokého tažení se rozděluje podle několika kritérií na různé odvětví, jednou z nich je rozdělení podle použitého nástroje, to znamená:

- Jednoduché tažné nástroje – jedná se pouze o dvojici nástrojů s jednou pevnou částí a jednou pohyblivou částí. Pohyblivá část (tažník) táhne materiál skrz pevnou část (tažnici).
- Postupové tažné nástroje – jedná se o provedení více operací tažení, kdy se materiál posouvá přes sérii různých nástrojů. Vždy se provede tedy pouze jen jedna operace na jeden zdvih a polotovár pokračuje dál. To umožňuje výrobu tvarově složitějších výtahů.
- Sdružené tažné nástroje – jedná se o sdružení nástrojů, které provedou více technologií za sebou. To znamená, že materiál postupně projde například tažením, stříháním, ohýbáním, nebo děrováním.
- Sloučené tažné nástroje – jedná se o provedení více operací na jeden zdvih nástroje.

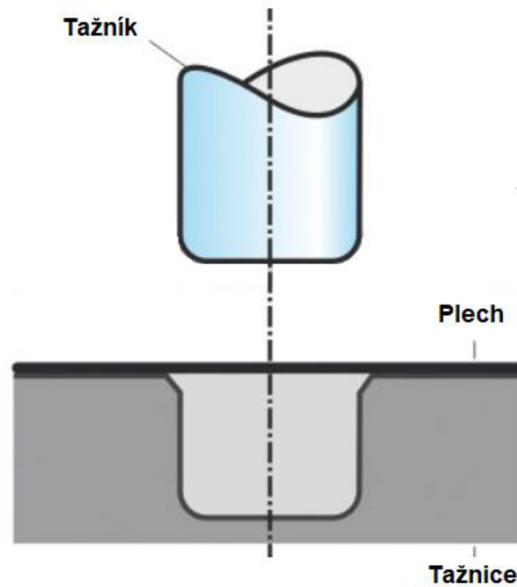
Dále se rozděluje technologie hlubokého tažení dle metody výroby finálního tvaru, a to na konvenční metody výroby a nekonvenční metody výroby. [22, 24]

### **2.2.1 Konvenční metody**

Konvenční metody hlubokého tažení jsou běžné metody, které už jsou známé několik let. Jedná se o technologie, které využívají základních nástrojů pro tažení, kterými jsou tažník a tažnice. Mění se pouze způsob využití této dvojice pro samotné tváření. Konvenční metody tedy dělíme na několik způsobů tažení:

## Prosté tažení

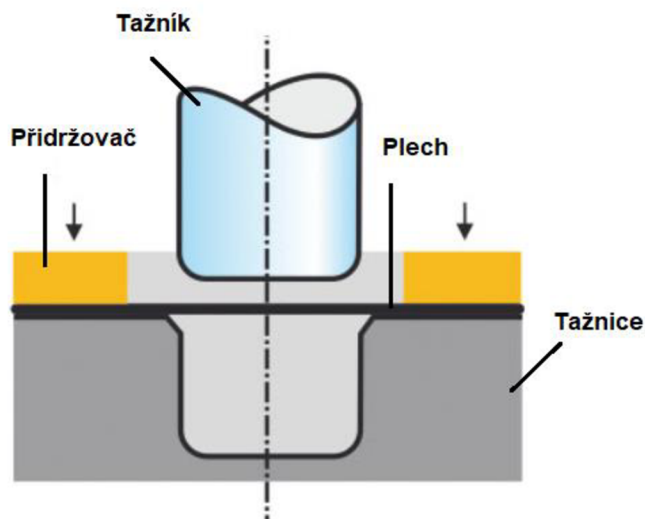
Jedná se o nejjednodušší metodu tažení, kde se objevuje jako nástroj pouze tažník a tažnice. Materiál ve formě přístřihu je vložen mezi tyto dvě části a je tažníkem vtlačěn do pevné části (tažnice), viz (Obr. 17). [22, 25]



*Obr. 17 Technologie prostého tažení. [26]*

## Tažení s přidržovačem

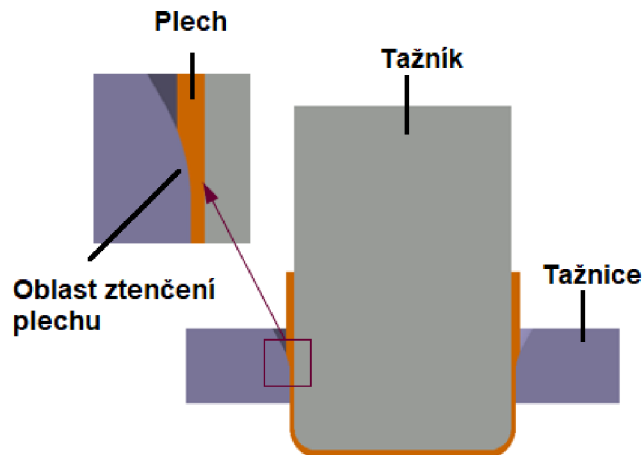
Technologie tažení s přidržovačem navazuje na technologii prostého tažení, kdy je přidán tzv. přidržovač, viz (Obr. 18). Jeho úkolem je přitlačení plechu na povrch tažnice, což způsobí vytvoření tlaku, který postupně uvolňuje plech k hraně tažnice. To má za následek vyvarování se vzniku vlnění plechu. Dále také má pozitivní vliv na minimalizaci deformace a vzniku velkých napětí. [25]



*Obr. 18 Technologie tažení s přidržovačem. [26]*

## Tažení se ztenčením stěny

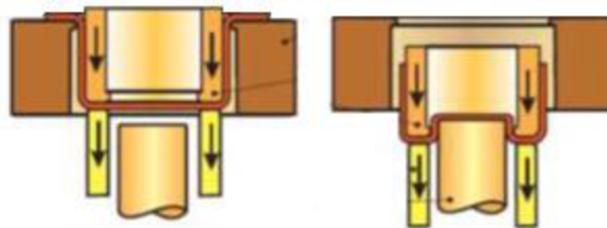
Technologie tažení se ztenčením stěny probíhá obdobně jako technologie jednoduchého tažení. Dochází však ke ztenčení stěny plechu, které způsobuje zmenšení tažné mezery mezi tažníkem a tažnicí, viz (Obr. 19). Tažení se ztenčením stěny se často používá při vícenásobném tažení. [22, 25]



*Obr. 19 Technologie tažení se ztenčením stěny. [25]*

## Zpětné tažení

Technologie zpětného tažení nevyužívá přidržovače. Materiál je vtáhnut do tažnice klasickým způsobem tažníkem a poté ze spodu dochází k tažení v opačném směru, viz (Obr. 20). Díky dvojnásobné deformaci dojde k velkému zpevnění materiálu. Výtažky vyrobené touto technologií mají velmi dobrou přesnost. [22, 25]



*Obr. 20 Technologie zpětného tažení. [25]*

## Zužování

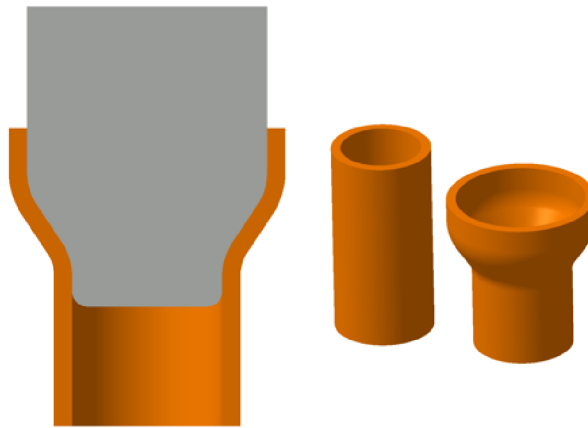
Technologie zužování spočívá v redukování průměru konce výtažku, viz (Obr. 21). Při zužování nedochází k zeslabování materiálu, to znamená že kov je pouze stlačován, čímž dochází ke zpevňování materiálu. Při tažení by úhel zužování neměl překročit 45°, protože by mohlo dojít ke zborcení konce výtažku. [25]



*Obr. 21 Technologie zužování. [25]*

## **Rozšiřování**

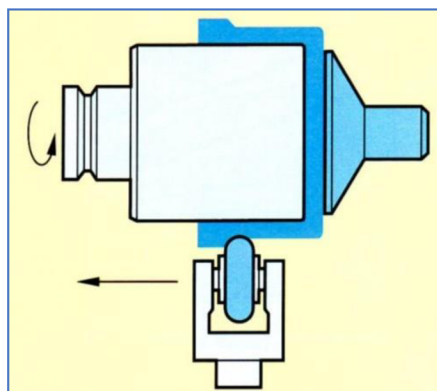
Technologie rozšiřování spočívá v zvětšování průměru výtažku, viz (Obr. 22). Při tažení dobře tvářitelných kovů lze dosáhnout rozšíření průměru až o 30 %. Tato technologie se často používá při rozšiřování trubek. [25]



*Obr. 22 Technologie rozšiřování. [25]*

## **Kovotlačení**

Jedná se o technologii rotačního tváření kovového přístříhu, který je tlačěn na rotující model, viz (Obr. 23). Tlačení může probíhat buď ručně nebo strojně. Většinou se jedná o kusovou výrobu. [25, 27]



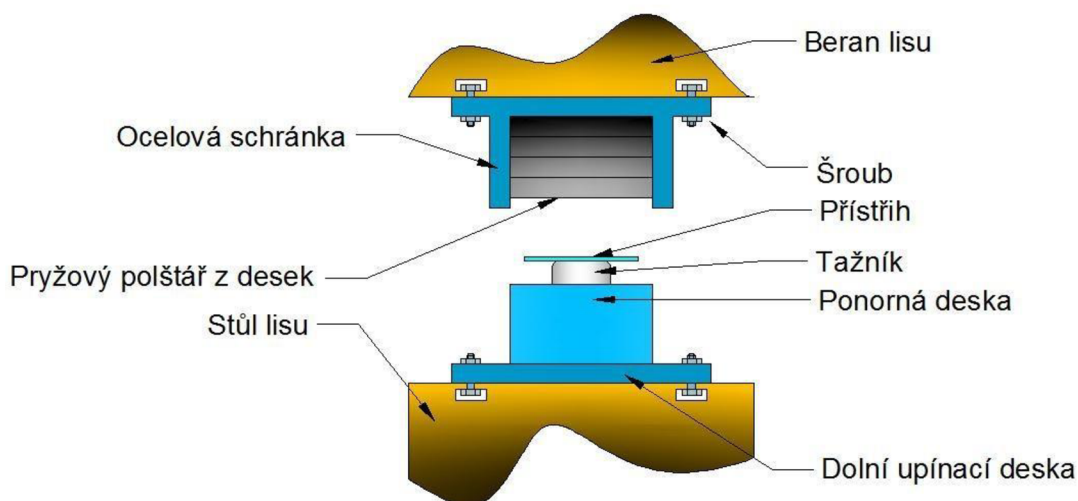
*Obr. 23 Technologie kovotlačení. [25]*

### 2.2.2 Nekonvenční metody

Jedná se o technologie tažení, kde se uplatňují moderní způsoby tváření kovu. Mezi tyto technologie patří například metody, které mají vysokou rychlost tváření, dále metody, které využívají tlaku působícího ze všech stran nebo například metody, které kombinují několik způsobů. Často se jedná o technologii tažení nepevnými nástroji (tváření pomocí gumy nebo kapaliny). [25, 28]

#### Tažení pryží – metoda Guerin

Metoda Guerin je založena na principu tažení plechu pomocí pryže, která přímo působí na plech. To znamená, že pryžový blok (tažnice) zatlačí na plochu materiálu který obejme negativ budoucího výrobku, konkrétně tažník, viz (Obr. 24). Maximální hloubka tažení, kterou je pryž schopna dosáhnout je 40 mm a plocha kterou pokryje je 800 x 800 mm. [22, 25]

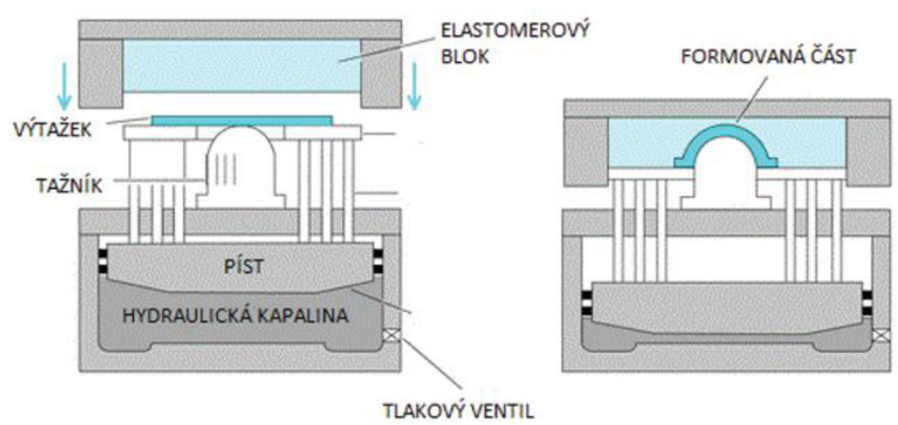


*Obr. 24 Technologie tažení pryží metodou Guerin. [25]*

#### Tažení pryží – metoda Marform

Metoda Marform navazuje na metodu Guerin, kdy je navíc přidán přidržovač a plech se vtlačuje do pryžového bloku pomocí tažníku, viz (Obr. 25). Tato technologie se využívá více pro tenké plechy a lze táhnout výtažky u kterých není limitující jejich hloubka. Jedná se však o technologii, která je finančně náročnější než metoda Guerin, ale lze vyrábět tvarově rozměrné a geometricky složitější výtažky. [22, 25]

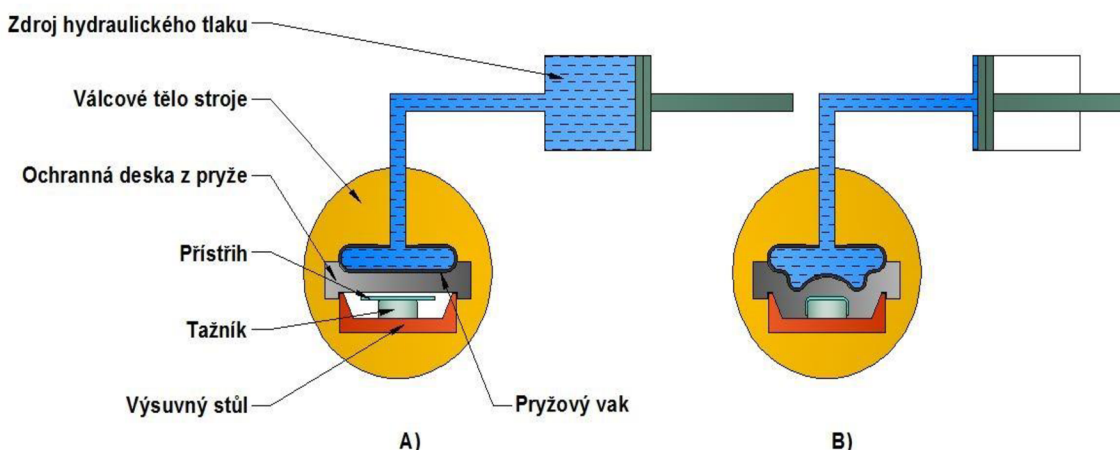




*Obr. 25 Technologie tažení pryže metodou Marform. [25]*

### **Tažení kapalinou – metoda Wheelon**

Metoda Wheelon navazuje na technologii tažení pryže Guerin, kdy opět na tažený materiál působí pryž, ale zprostředkovatelem tlaku na pryž je kapalina (pryž má jen ochrannou funkci), viz (Obr. 26). Výroba dokonalejších dílů se širšími přírubami nebo žebrovaných součástí. Využívá se spíše pro tenké plechy. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena stroje a nároky na těsnost hydraulického aparátu. [22, 25]

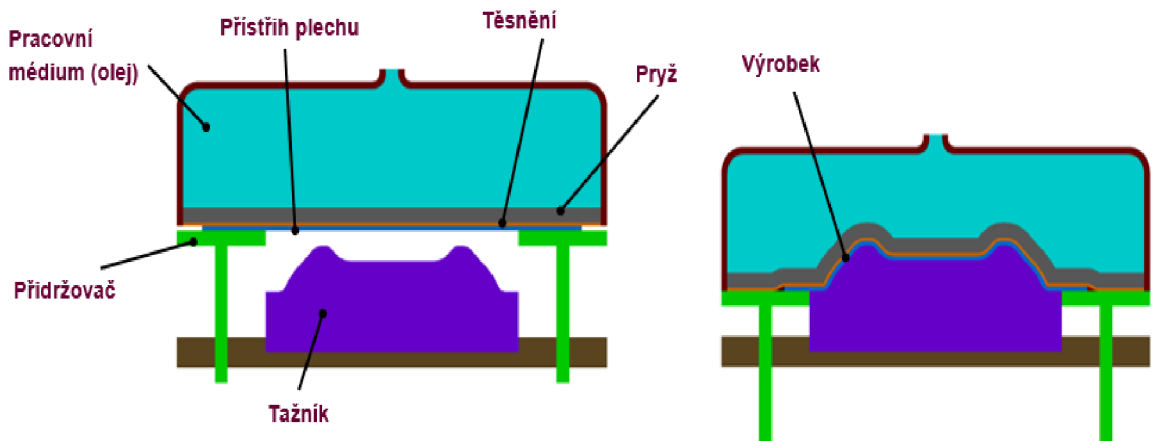


*Obr. 26 Technologie tažení kapalinou metodou Wheelon. [25]*

### **Tažení kapalinou – metoda ASAE Quintus**

Metoda ASAE Quintus je podobná jako technologie Wheelon, rozdíl je ve využití pouze pryžové membrány, která tlačí na přístříh, viz (Obr. 27). Absentuje zde pryžový špalek, který u metody Wheelon působil na plech. Výroba dílů s dobrou geometrickou přesností díky možné regulaci tlaku. Tlak působí rovnoměrně po celém povrchu výtažku. U této metody jsou velké nároky na těsnost celého systému. [25]

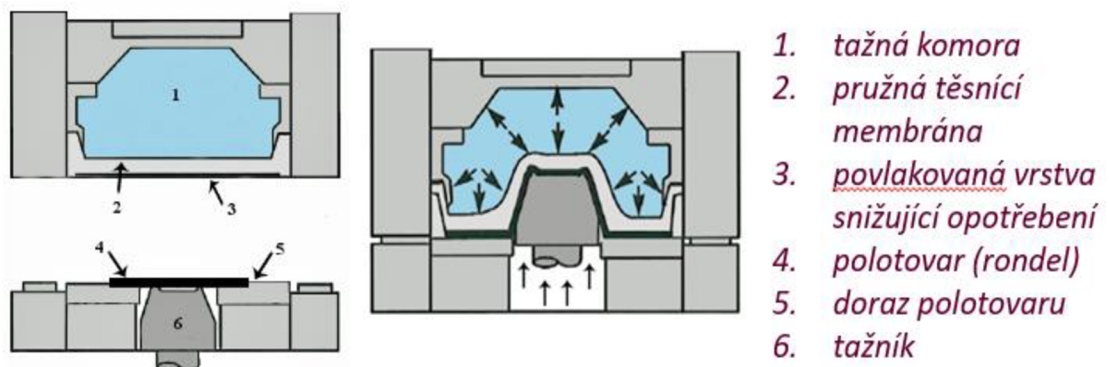




*Obr. 27 Technologie tažení kapalinou metodou ASAE Quintus. [25]*

### **Tažení kapalinou – metoda hydroforming**

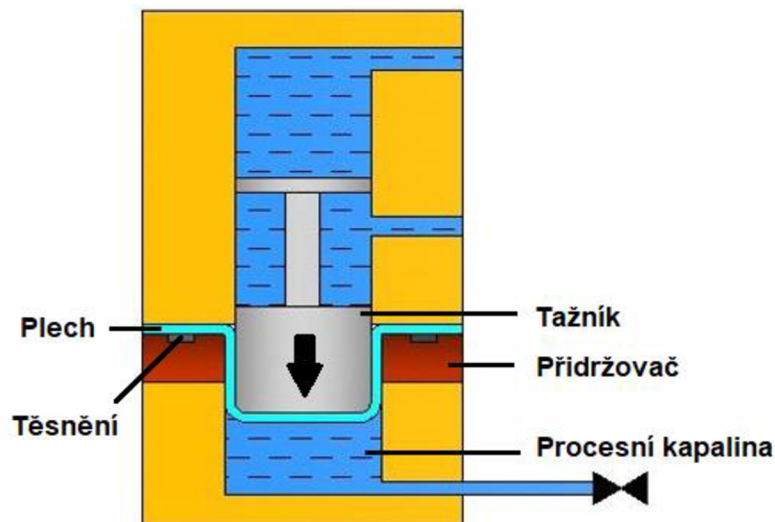
Metoda hydroforming spočívá v tažení plechu pomocí tažníku, který ho vtlačuje do kapaliny, kterou odděluje pryžová membrána, viz (Obr. 28). Celá soustava musí být utěsněna, aby nedocházelo k následné korozi na povrchu materiálu. Pryž vykonává funkci přidržovače, aby nedocházelo ke zvlnění výtažku. Tažník je u této technologie v podobě negativu budoucího výtažku. [22, 25]



*Obr. 28 Technologie tažení kapalinou metodou hydroforming. [25]*

### **Hydromechanické tažení**

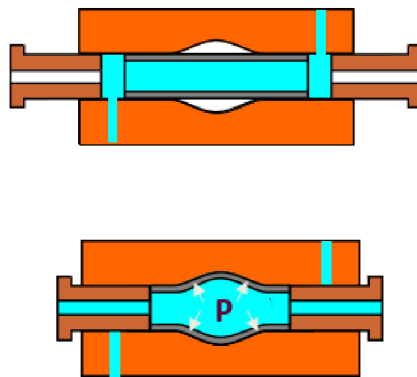
Metoda hydromechanického tažení spočívá v tažení plechu, kde z jedné strany působí tažník (hydraulicky poháněný) a z druhé kapalina, která je přímo v kontaktu s plechem, viz (Obr. 29). Výhodou je velká geometrická přesnost a při volbě správného tvářecího média i vysoká jakost povrchu. Nevýhodou je nutnost vysokého tlaku na kapalinu při jejím úniku mezi přidržovačem a polotovarem. [22, 25]



*Obr. 29 Technologie hydromechanického tažení. [25]*

### **Tváření vnitřním přetlakem**

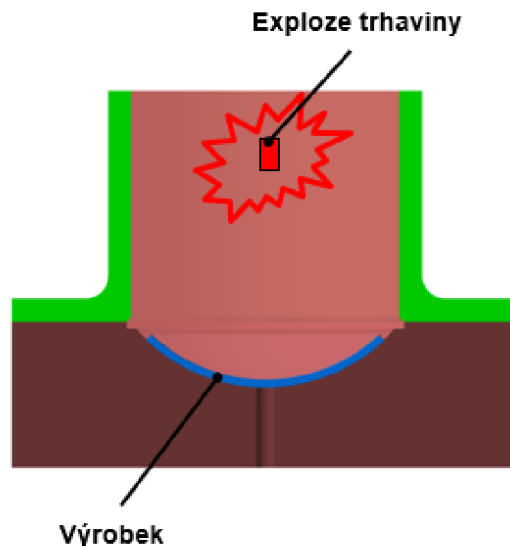
Metoda tváření přetlakem se využívá především pro polouzavřené nádoby (trubky, kolena). Hlavní princip spočívá v tažení pomocí kapaliny, která je přímo v kontaktu s materiálem, který tlakem vytlačí do požadovaného tvaru, viz (Obr. 30). Technologie vyžaduje vysoké nároky na dobré utěsnění soustavy, kde tlaky dosahují od 100 až do 1000 MPa. [25, 27]



*Obr. 30 Technologie tažení vnitřním přetlakem. [25]*

### **Tváření výbuchem**

Metoda tváření výbuchem se zakládá na tažení plechu v obrovské rychlosti pomocí exploze, viz (Obr. 31). Tlaková vlna pak působí přímo na materiál nebo je na něj přenesena pomocí procesního média (voda, písek, hlína). Rychlost tváření je v tomto případě až 250 m/s. Technologii doprovází vysoká přesnost finálních výrobků. Používá se pro kusovou výrobu a pro obtížně tvářitelné materiály v leteckém či vesmírném průmyslu. [25, 28]



*Obr. 31 Technologie tažení výbuchem. [25]*

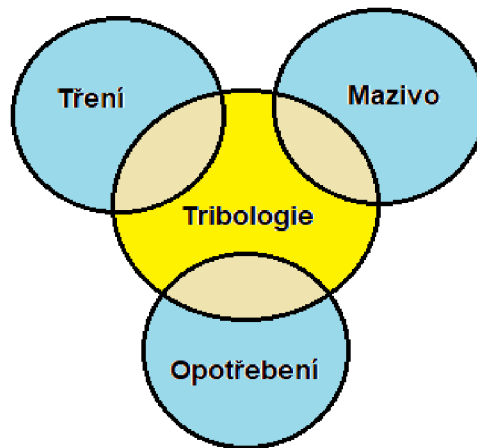
### **Elektromagnetické tváření**

Metoda elektromagnetického tváření spočívá v tažení plechu pomocí elektromagnetických vln, které způsobují přitisknutí materiálu k negativu finálního tvaru. Využívá se pro elektricky vodivé kovy. energii, která působí na výlisek, lze nastavit s určitou přesností a následně také ovládat. [25, 28]

## **2.3 Tribologické procesy při hlubokém tažení**

### **2.3.1 Tribologie**

Tribologie je vědní obor, který zkoumá vzájemnou interakci dvou nebo více těles. Jejím hlavním cílem je popsat vzájemný kontakt, ke kterému dochází vzájemným třením a tím způsobující opotřebení těchto těles. Mezi hlavní veličiny, které v tribologii vystupují a popisují se je tření, opotřebení a mazání, viz (Obr. 32). Samotný pohyb těles může být jednoduchý kluzný, dále také valivý nebo například kmitavý (oscilace) či rázový. Tyto pohyby jsou ve skutečnosti složené a na těleso působí v různě velkých složkách všechny najednou. Tribologie se zabývá kontaktem těles z hlediska snížení tření, které uvolňuje velké množství tepelné energie, a tím pádem dochází k poškození nástrojů. Tribologie také pomáhá při volbě maziva, které se používá pro předejití většímu opotřebení, ať už se volí objem přidaného maziva, druh maziva, atd.... [29–31]



*Obr. 32 Části tribologie.*

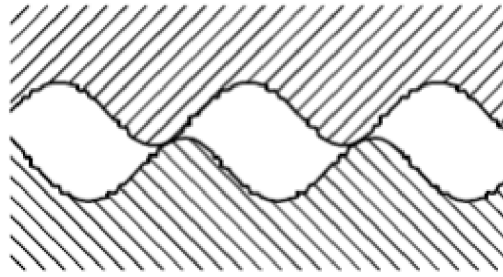
### **2.3.2 Tření**

Tření vzniká mezi dvěma tělesy, které konají pohyb a na základě jejich odlišného směru pohybu vzniká proti tomu odpor, který má za následek vytváření tepelné energie. Vzniká tedy třecí síla, která je vždy opačná ke smyslu pohybu tělesa. Samotné tření pak lze rozdělit na žádoucí a nežádoucí. Žádoucím třením je například pohyb člověka, přesun z bodu A do bodu B by nebyl bez tření možný. Ve strojírenství se tření využívá u spojek (třecí), řemenového převodu nebo také u brzdových systémů. Nežádoucí tření je pak například u ložisek, které často podléhají výměně. Při hlubokém tažení se tření projevuje na opotřebení tažného nástroje a pak také při samotném tahu, kdy probíhá tření mezi nástrojem a plechem, kde vyžaduje vytvoření ideálních podmínek, aby se dosáhlo co nejvyšší kvality výtažku. [22, 23, 24]

#### **Druhy tření**

##### **Suché tření**

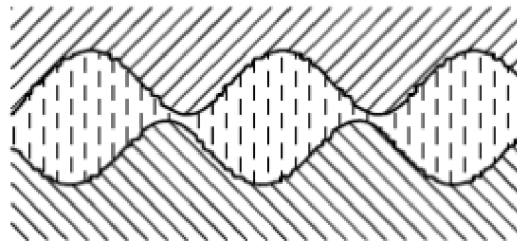
Je to druh tření, při kterém není přítomno mazivo, viz (Obr. 33), tím pádem se dvě tělesa přímo dotýkají svými plochami. Na mikroskopické úrovni se do sebe zaklesávají výčnělky jednotlivých povrchu a dochází k vytváření mikrosvarů, které způsobují vylamování materiálu (při menší drsnosti je více kontaktních ploch). Dále také dochází k opotřebení z důvodu odštížení materiálu. To znamená, že čím větší je drsnost povrchu, tím se i zvětšuje třecí síla v místě dotyku. [33–35]



*Obr. 33 Suché tření. [33]*

### **Mezné (polosuché) tření**

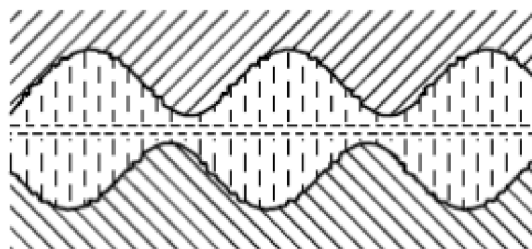
Mezné tření je kombinací suchého a kapalného tření, kde je přítomno takové množství maziva, které vytvoří vrstvu mezi plochami, ale nedochází k celkovému oddělení ploch a vznikají tak místa, kde dochází k vzájemnému kontaktu a tím pádem k tření. Velikost vrstvy mezi plochami bývá na molekulární úrovni a výstupky na ploše mají možnost kontaktu s druhou plochou, (viz Obr. 34). [33–35]



*Obr. 34 Mezné tření. [33]*

### **Kapalinné tření**

Kapalinné tření je charakteristické takovým množstvím maziva, při kterém se plochy třecí soustavy vzájemně nedotýkají, viz (Obr. 35). Pro vytvoření takového prostředí je nutné kapalinu udržovat pod určitým tlakem, což vyžaduje dobře utěsnit celou soustavu a vyvodit sílu na kapalinu, aby dokázala tyto plochy udržet od sebe. To se může docílit také vytvořením takové rychlosti ploch, které vytvoří takový tlak, který je udrží od sebe, například u ložisek. [33–35]



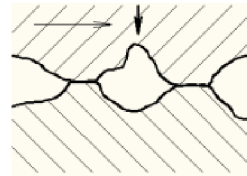
*Obr. 35 Kapalinné tření. [33]*

### 2.3.3 Opotřebení

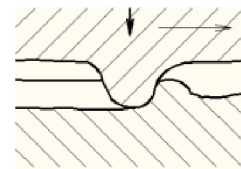
Opotřebení je nežádoucí stav, který způsobuje dlouhodobý vzájemný pohyb dvou těles. Je to průvodní jev při tření a má za následek znehodnocení výrobku. Opotřebení materiálu vzniká několika způsoby a rozděluje se do několika kategorií, viz (Tab.1). [29]

**Tab. 1** Druhy opotřebení materiálu. [29]

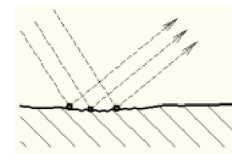
Adhezivní opotřebení  
(tvorba mikrosvarů = odtrhávání  
materiálu)



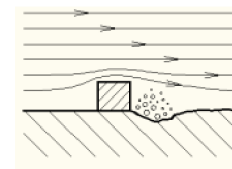
Abrazivní opotřebení  
(Jeden materiál tvrdší než druhý = rýhy)



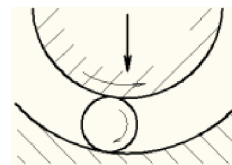
Erozivní opotřebení



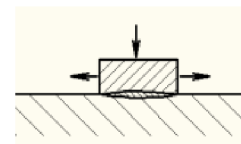
Kavitační opotřebení



Únavové opotřebení



Vibrační opotřebení  
(kmitavý pohyb)



### 2.3.4 Mazání

Mazání je nedílnou součástí tribologického procesu. Přidáváním maziva se snižuje odpor proti tření a brání kontaktu mezi třecími plochami. Snížení tření poté vede k snížení opotřebení součástí. Maziva mohou hrát velkou roli při jejich použití, a proto by měla držet svoje ideální vlastnosti co nejdéle, měla by být tzv. neměnná. Dále by také neměly negativně působit na materiál, na kterém jsou použity. Mezi hlavní funkce maziv patří odvod tepla vzniklý třením, dále například odvod nečistot nebo vytvoření vrstvy, která omezí styk ploch a tím pádem zmenší tření. [29, 31, 36]

#### Maziva

Maziva jsou nedílnou součástí tribologického procesu. Používají se především pro snížení koeficientu tření a také jako ochrana nástrojů před opotřebením. Dle skupenství pak lze maziva rozdělit na:

- Pevná – grafit
- Kapalná – ropné oleje, syntetické oleje, rostlinné oleje
- Plynná – vzduch, hélium, kyslík
- Plastická – mazací tuky [29, 36]

Z hlediska použití maziv při technologii tažení, se využívá při lisování plechu karosérie tří typů mazadel, a to:

- Technologická maziva – Využívají se při samotném tažení, kde mají jako hlavní funkci snížit tvářecí sílu a snížit vliv tření.
- Konzervační maziva – Slouží jako ochrana plechu a plechy jsou již namazány od výrobce. Dále se však již využívají jako technologická mazadla, to znamená, že konzervační maziva mají dvojí funkčnost.
- Prací oleje – Hlavní funkcí pracích olejů je připravit povrch plechu tak, aby se dosáhlo co nejvyšší kvality povrchu výlisku. Kvalita povrchu má vliv na další operace následující po lisování.

Proces tažení plechu karosérie automobilu začíná dovozem plechu, který má na svém povrchu vrstvu konzervačního maziva. Dále následuje tzv. praní, kde se odstraní vrstva konzervačního maziva a na plechu zůstává vrstva pracího oleje, který zůstává na plechu i při samotném tváření. Dochází pouze k úpravě tloušťky vrstvy maziva, které vstupuje do procesu lisování. [29, 36, 37]

## **2.4 Základy fotogrammetrie**

### **2.5.1 Metody bezkontaktní analýzy deformace**

Bezkontaktní analýzy deformace se využívají pro zjištění velikosti deformace a jejímu průběhu bez nutnosti kontaktu s povrchem zkoumaného objektu. Bezkontaktní analýzy dále také poskytují informace o změně tvaru, napětí nebo také o mechanických vlastnostech materiálu. [38, 39]

#### **Laserové snímače**

Princip měření deformace pomocí laserového snímače se zakládá na odrazu laserového paprsku skrz čočky a další části zařízení na povrch měřené součásti. Prostor pro měření je vyznačen reflexními body, které zařízení snímá po celou dobu deformace. V reálném čase je zaznamenáván pohyb značek a výsledná data jsou převedena na celkové prodloužení. [38]

#### **Optické snímače**

Principem měření deformace pomocí optického snímače je paprsek světla, který osvětluje povrch měřeného vzorku. V prostoru měření jsou umístěny reflexní nebo barevné značky. Samotné měření pak probíhá díky systému, který rozeznává stupně šedi neboli rozdíly mezi tmavými a světlými body. Pro měření je tedy vhodné vytvořit černobílý pattern. [38]

#### **3D skenery**

Princip měření pomocí 3D skenerů, viz (Obr. 36), se zakládá na snímání objektů a převedení těchto dat do 3D modelů v počítači. Naskenované 3D modely pak lze porovnávat s 3D modely, které byly vytvořeny v CAD programu. Na základě porovnání těchto dat lze sledovat deformaci materiálu, změnu tvaru nebo sledovat poškození součásti jako jsou například trhliny. [40]





Obr. 36 3D skener HandySCAN BLACK (Creaform). [41]

### 2.5.2 Úvod do fotogrammetrie

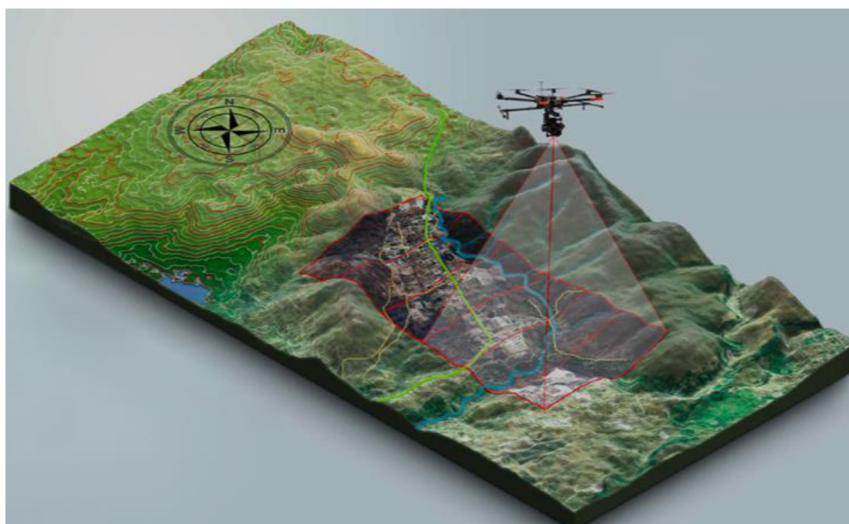
Fotogrammetrie je vědní obor, který se zabývá zpracováním dat vzniklým pomocí fotografických snímků různých objektů. Využití fotogrammetrie ve strojírenství je především v bezkontaktním měření, kde se uplatňuje hned pro několik druhů měření (deformace, změna tvaru, napětí, ...). Jako zakladatel fotogrammetrie se považuje Francouz Laussedat, který ji začal využívat pro účely měření. Dalším stěžejním bodem vývojem byl posun v leteckém a astronomickém průmyslu, který umožnil pořizování snímků celé planety. Následně pokročila fotogrammetrie s vývojem počítačů a bylo možné zavést digitální formu fotogrammetrie. [42–44]

#### Základní rozdělení fotogrammetrie

Fotogrammetrii lze rozdělovat podle několika následujících kritérií:

##### Podle polohy stanoviště

- Pozemní – Fotogrammetrické zařízení je pevně upevněno na povrchu země. Umístění a celkové vybavení pro pozemní fotogrammetrii je daleko jednodušší než pro leteckou. Nevýhodou je pak omezení velikosti snímaného objektu, jelikož se snímky mohou překrývat, dochází k většímu procentu oblastí, které nelze vyřešit.
- Letecká – Nosičem fotogrammetrického zařízení může být letadlo, vrtulník nebo dron, viz (Obr. 37). U této technologie lze obsáhnout větší plochu za kratší čas. [42–44]



*Obr. 37 Využití fotogrammetrie pomocí dronu. [45]*

### **Podle počtu vyhodnocovaných snímků**

- Jednosnímková – Tuto metodu lze využít pouze pro rovinné objekty (souřadnice), a proto její využití je především ve stavebnictví pro snímání fasád nebo v archeologii. Při letecké fotogrammetrii ji lze využít pro snímání rovinných povrchů země.
- Dvousnímková – Metoda, při které lze zpracovávat snímky ze dvou kamer různě umístěných v prostoru, viz (Obr. 38). Kamery zachycují v jeden čas objekt ze dvou směrů. Tato metoda se také nazývá jako stereofotogrammetrie a je v současné době nejvíce využívanou technologií. [42–44]



*Obr. 38 Aramis adjustable – dvousnímkové vyhodnocení. [46]*

### **Podle technologie zpracování snímků**

- Analogická – Využití analogových kamer (opticko – mechanické zařízení)
- Analytická – Pořízené snímky jsou vyhodnocovány na počítači
- Digitální – Využití fotografií jako vstupní obraz a následné použití počítačového softwaru pro vyhodnocení dat. [42, 43]

### **Podle záznamu výstupních hodnot**

- Grafické – Způsob vyhodnocení, při kterém jsou v reálném čase vykreslována naměřená data na kreslicí stůl. Využití především pro popis složení geografické mapy. Nevýhodou je neúplná přesnost výsledných hodnot.
- Numerické (číselné) – jedná se o číselný způsob vyhodnocení, při kterém jsou vyhodnocovány jednotlivé souřadnice do paměti počítače. Výsledkem jsou pak jednotlivé vektory, které se dají dále zpracovávat. [42, 43]

### **Požadavky na fotografický obraz**

Požadavky, kterým podléhá výsledná fotografie, se odvíjí od požadované přesnosti, se kterou se vyhodnocují výsledky. Z tohoto důvodu je kladen důraz na několik vlastností fotografie, a to:

- Velmi dobře rozeznatelnou intenzitu osvětlení jednotlivých částí fotografie
- Mít velké rozlišení
- Dobrou citlivost
- Mít stále rozměry [42]

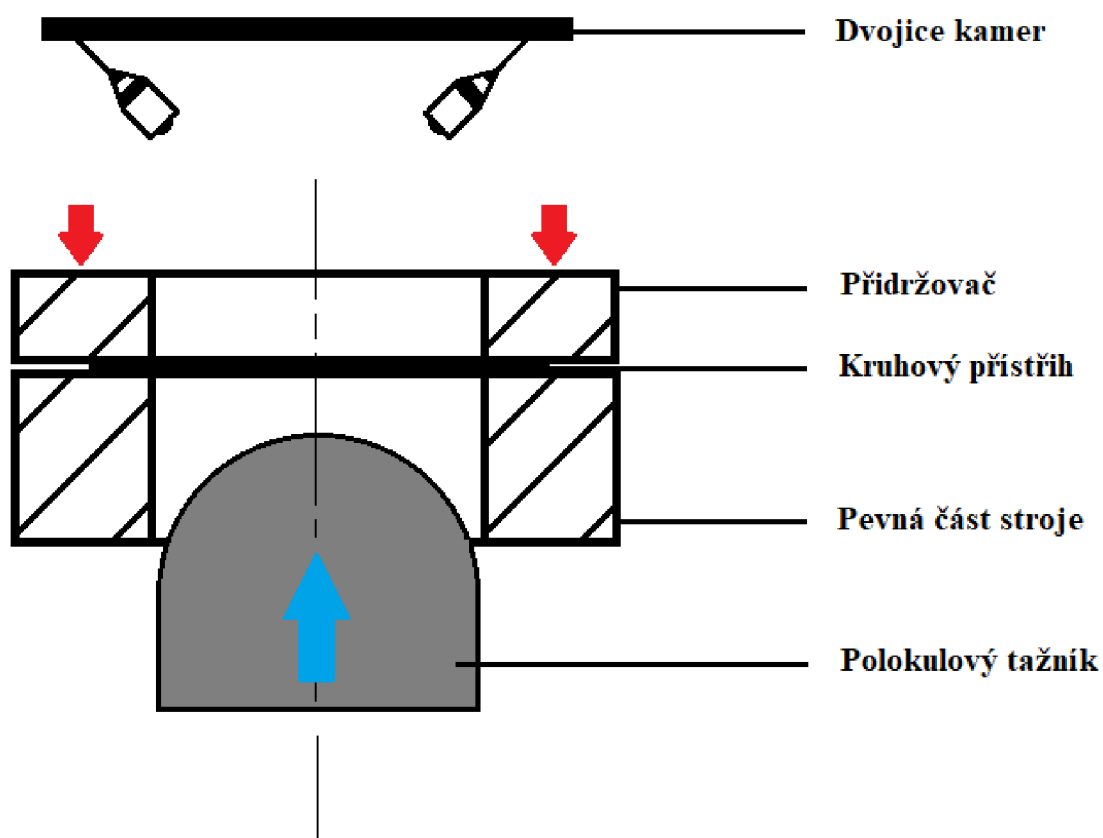
### **Aplikace fotogrammetrie**

Uplatnění nachází fotogrammetrie v mnoha oblastech, ať už při mapování povrchu země a geodetických činnostech, tak také ve stavebnictví a strojírenství. Své hlavní použití ve strojírenství pak nachází především při porovnávání finálních výrobků s požadovanými, při měření vlastností v průběhu tváření (deformace, změna tvaru, napětí), při simulacích, atd... [42, 47]

### 3. Experiment

V rámci řešení experimentální části diplomové práce byl zjišťován vliv množství maziva na rozvoj deformace při tažení výlisku polokulovým tažníkem. Experimentální část lze shrnout do několika bodů:

- Zjištění mechanických vlastností dvou porovnávaných materiálů statickou zkouškou tahem pro směry  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  a  $90^\circ$ .
- Tažení plechu polokulovým tažníkem při různém množství maziva (1 g, 1.5 g a 3 g) na  $m^2$ , a to při sledování procesu deformace fotogrammetrickou metodou, schéma viz (Obr. 39).
- Sledování průběhu deformace v softwaru GOM Correlate od firmy Zeiss a vyexportování výsledných hodnot do programu Microsoft Excel.
- Porovnání výsledných hodnot, provedení statického vyhodnocení a konečné vyhodnocení množství vlivu maziva na proces tažení.



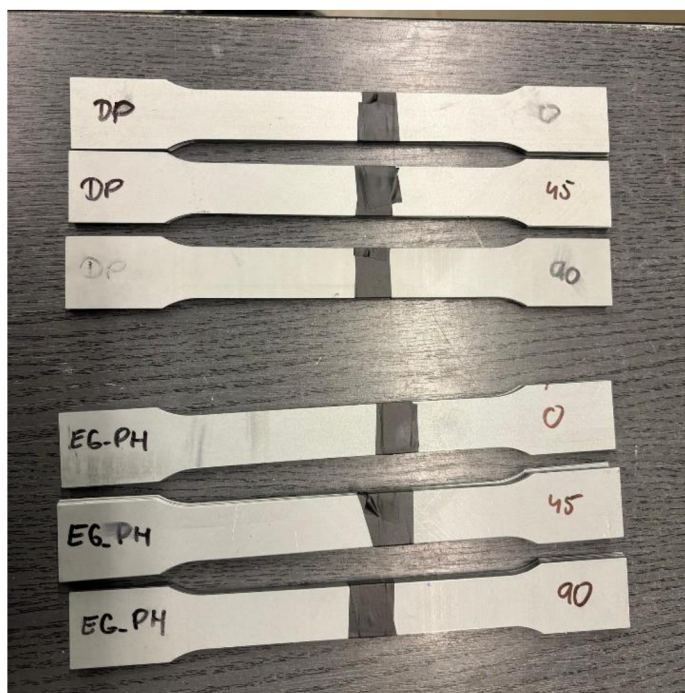
*Obr. 39 Schéma experimentu.*

### 3.1 Experimentální zjištění mechanických vlastností materiálu

Zjištění mechanických vlastností proběhlo dle normy ČSN EN ISO 6892-1, a to pro dva testované materiály, kterými byly materiály označované dle normy VDA 239-100. První z nich byla DP ocel s označením CR290Y490T-DP-EG29/29-E-P-O, což je dvoufázová ocel za studena válcovaná s minimální mezí kluzu 290 MPa a minimální mezí pevnosti v tahu 490 MPa, s elektrolyticky pozinkovanou vrstvou s hmotností 29 g/m<sup>2</sup> z obou stran, s fosfátovaným a naolejovaným povrchem (v textu materiál dále označován jako DP). Tloušťka materiálu z DP oceli byla 0,55 mm. Druhým materiálem byla hlubokotažná ocel CR4EG29/29-E-P-O, což je za studena válcovaná ocel s třídou jakosti 4, s elektrolyticky pozinkovanou vrstvou s hmotností vrstvy 29 g/m<sup>2</sup> z obou stran, s fosfátovaným a naolejovaným povrchem (v textu materiál dále označován jako EG-PH). Tloušťka materiálu z EG-PH oceli byla 0,7 mm. Zkouška proběhla v několika krocích, a to od přípravy vzorku, přes provedení samotné zkoušky tahem až po vyhodnocení výsledků a následné vygenerování protokolů s výslednými hodnotami. [48]

#### 3.1.1 Příprava vzorků

Dle normy pro zkoušku tahem byly vytvořeny zkušební vzorky pro jednotlivé materiály. Pro každý z nich bylo vytvořeno 5 zkušebních vzorků pro každý směr válcování, to znamená pro směry 0°, 45° a 90°. Celkem tedy 15 vzorků pro každý materiál, viz (Obr. 40).



*Obr. 40 Zkušební vzorky pro zkoušku tahem.*

### 3.1.2 Zkouška tahem

Zkouška tahem proběhla na stroji TIRA Test 2300, viz (Obr. 41), pro zjištění materiálových vlastností vzorků, které byly následně testovány v dalším průběhu experimentu. Pro každý směr válcování a materiál bylo vytvořeno 5 vzorků pro přesnější výsledná data. Deformační rychlost byla nastavena na 1 mm/min do meze kluzu a při dosažení protažení vzorku o 0,6 mm se rychlost zvětšila na 15 mm/min.



*Obr. 41* Zařízení pro zkoušku tahem TIRA Test 2300.

Výsledné hodnoty získané ze zkoušky tahem pro DP ocel jsou uvedeny v tabulce, viz (Tab. 2) a pro EG-PH ocel v další tabulce, viz (Tab. 3). Zde jsou hodnoty pro oba zjišťované materiály a pro tři směry válcování ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ). Záznamy ze zkoušky tahem jsou uvedeny v protokolech, viz přílohy 1–6. Dále jsou uvedeny i jednotlivé grafy s průběhem zkoušky.

*Tab. 2* Výsledné hodnoty ze zkoušky tahem pro DP ocel.

	$R_{p0,2}$ [MPa]	$R_m$ [MPa]	$A_g$ [%]	$A_{80mm}$ [%]	$E$ [Mpa]	$R$ [-]
DP $0^\circ$	$318,5 \pm 3,3$	$514,6 \pm 5,0$	$17,79 \pm 0,60$	$22,97 \pm 1,47$	$199180 \pm 7266$	$0,869 \pm 0,019$
DP $45^\circ$	$319,6 \pm 0,6$	$521,3 \pm 2,2$	$18,62 \pm 0,21$	$25,55 \pm 0,82$	$212450 \pm 3244$	$1,012 \pm 0,016$
DP $90^\circ$	$314,2 \pm 0,6$	$528,9 \pm 2,6$	$18,59 \pm 0,33$	$26,15 \pm 2,36$	$221569 \pm 3456$	$1,065 \pm 0,025$



**Tab. 3** Výsledné hodnoty ze zkoušky tahem pro EG-PH ocel.

	$R_{p0,2}$ [MPa]	$R_m$ [MPa]	$A_g$ [%]	$A_{80mm}$ [%]	$E$ [Mpa]	$R$ [-]
EG-PH 0°	153,5 ± 0,9	301,1 ± 0,6	26,76 ± 0,36	46,12 ± 1,63	183920 ± 3234	1,986 ± 0,031
EG-PH 45°	156,7 ± 0,2	306,7 ± 1,1	26,06 ± 0,57	45,46 ± 2,14	205239 ± 4994	1,926 ± 0,033
EG-PH 45°	154,6 ± 1,9	300,6 ± 1,4	26,16 ± 0,44	46,55 ± 1,60	191942 ± 1331	2,617 ± 0,041

### 3.2 Experimentální zjištění vlivu množství maziva při tažení plechu

Pro zjištění vlivu množství maziva při tažení plechu karosérie byla zvolena metoda tažení plechu pomocí polokulového tažníku, který simuloval reálný proces tváření. Úkolem polokulového tažníku bylo tažení plechu při různém množství maziva až po vznik trhliny v materiálu. Celý proces bylo zapotřebí po celou dobu tažení sledovat pomocí dvojice kamer, které vytvářely záznam deformace plechu.

Pro provedení zjištění vlivu množství maziva bylo potřeba:

- Získání zkušebních vzorků z dodaných plechů
- Nanesení přesného množství maziva na plech
- Provedení tažení plechu polokulovým tažníkem při sledování průběhu deformace fotogrammetrickou metodou
- Vyhodnocení průběhu deformace plechu pomocí softwaru GOM Correlate a následné zpracování dat v programu Microsoft Excel

#### 3.1.1 Příprava vzorku pro tažení

Pro provedení zkoušky bylo potřeba vytvořit několik kruhových vzorků, které byly následně podrobeny tažením polokulovým tažníkem. Zhotoveno bylo 5 vzorků pro různé množství maziva (1 g/m<sup>2</sup>, 1,5 g/m<sup>2</sup> a 3 g/m<sup>2</sup>), to znamená 15 vzorků pro každý materiál, celkem tedy 30 vzorků. Nejprve proběhlo ustřížení pásu plechu, dále následovalo vystřížení jednotlivých kruhových polotovarů. Poté se naněslo na všechny vzorky černobílý pattern a nakonec bylo nanášeno přesné množství maziva.

## Nastřihání vzorků

Prvotní nástřih plechu proběhl na stroji MS 2504, viz (Obr. 42), kde byl materiál natlačen na doraz pod červenou lištu. Přesná šířka přístřihu byla nastavena na displeji stroje. Poté sešlápnutím pedálu došlo k samotnému střihu.



*Obr. 42 Nástroj pro střih.*

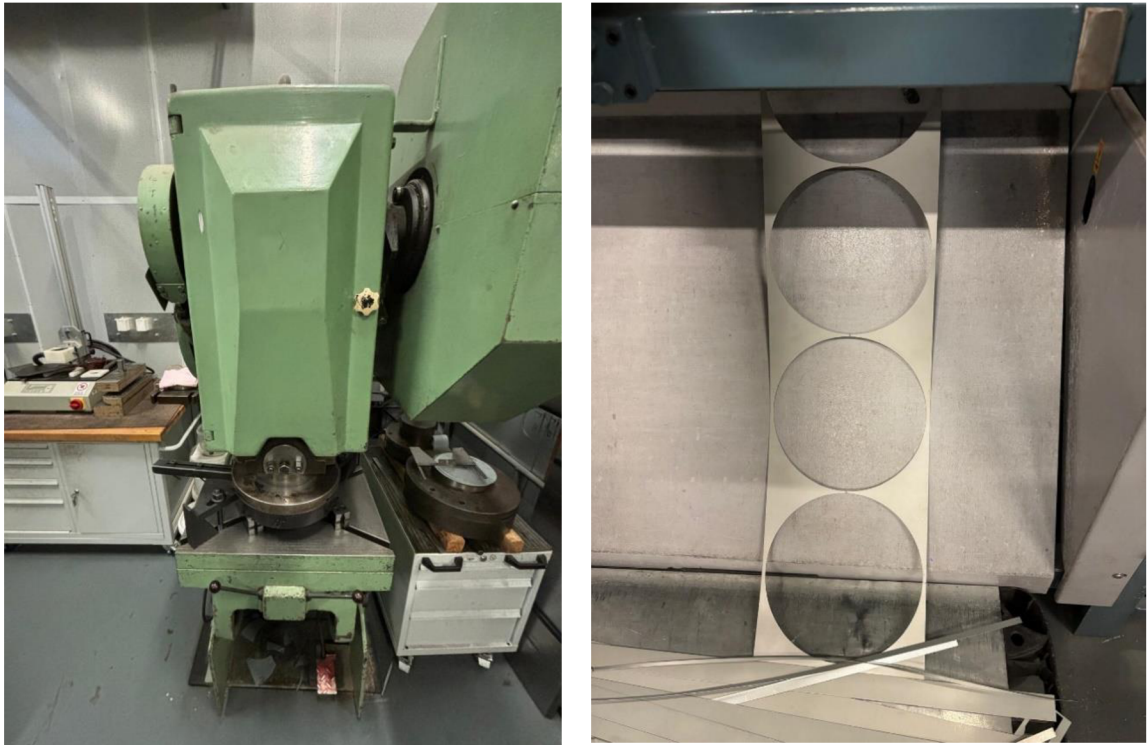
Z rozměrově většího plechu byly vytvořeny pásy plechu o šířce, se kterou se dalo následně pracovat a dále pokračovat ve vystřižení kruhových polotovarů, viz (Obr. 43).



*Obr. 43 Pásy plechu.*

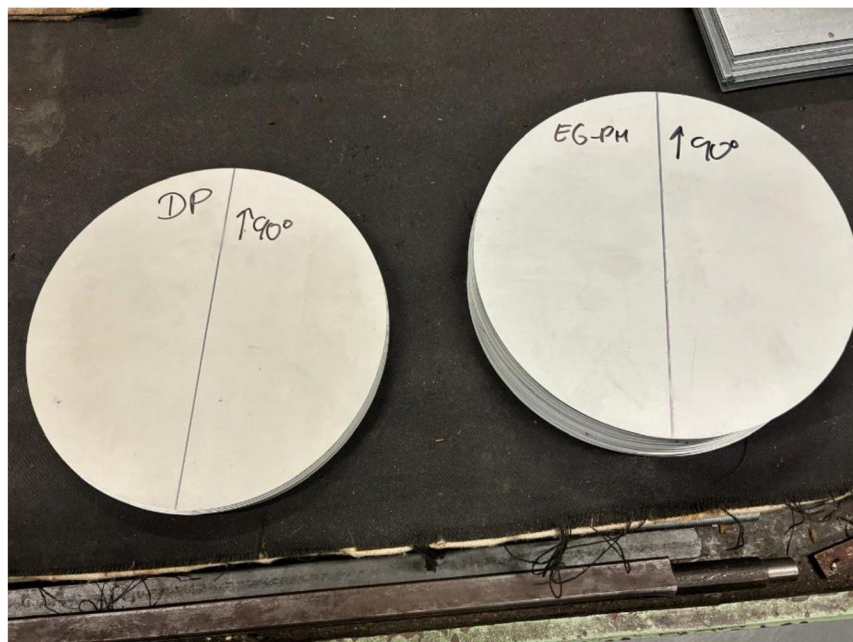


Dále z rovného přístřihu byly vystřiženy kruhové polotovary na střížném nástroji, viz (Obr. 44).



*Obr. 44 Střížný nástroj + zmetky z kruhových přístřihů.*

Výsledné kruhové přístřihy o průměru 210 mm, viz (Obr. 45), byly zhotoveny v celkovém počtu 30 kusů, tedy pro materiál z DP oceli 15 kusů a pro materiál z EG-PH oceli také 15 kusů. Na každý přístřih byla vytvořena čára a popsána hodnotou  $90^\circ$  pro přesné určení směru válcování. Dále byl také označen materiál, ze kterého byl plech zhotoven.



*Obr. 45 Kruhové přístřihy.*

## Nanesení černobílého patternu

Vzhledem k tomu, že průběh deformace byl zkoumán fotogrammetrickou metodou bylo nutné vytvořit na povrch plechu černobílý pattern. Ten je potřeba pro následné vyhodnocení v softwaru GOM Correlate, kde se program chytá jednotlivých černobílých bodů a lze tedy zkoumat přesně rozvoj deformace. Nanesení patternu bylo rozděleno do jednotlivých kroků:

- a) Odmaštění povrchu
- b) Nanesení kompletně bílého podkladu pomocí spreje
- c) Nanesení černých kapek => vytvoření černobílého podkladu

Odmaštění povrchu se provádí pro odstranění nečistot z povrchu plechu a pro vytvoření ideálních podmínek pro nanesení bílé a černé barvy. Je zapotřebí, aby barva perfektně přilnula k povrchu plechu a při procesu tažení nedocházelo k odchlípnutí či trhání v brzkém stádiu deformace. Odmaštění povrchu probíhalo pomocí prostředku Aceton, viz (Obr. 46).



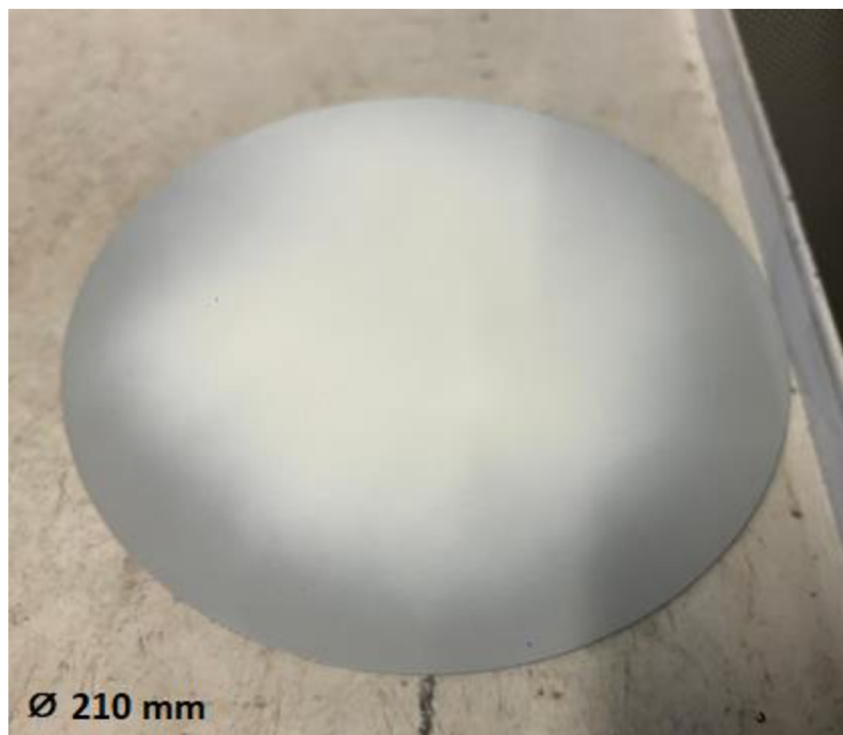
*Obr. 46 Odmašťovací prostředek.*

Po odmaštění povrchu plechu bylo zapotřebí nanést černobílý pattern, a to za pomoci barev ve spreji, viz (Obr. 47). Použité byly barvy RAL odstínů bílé a černé.



*Obr. 47 Barvy ve spreji.*

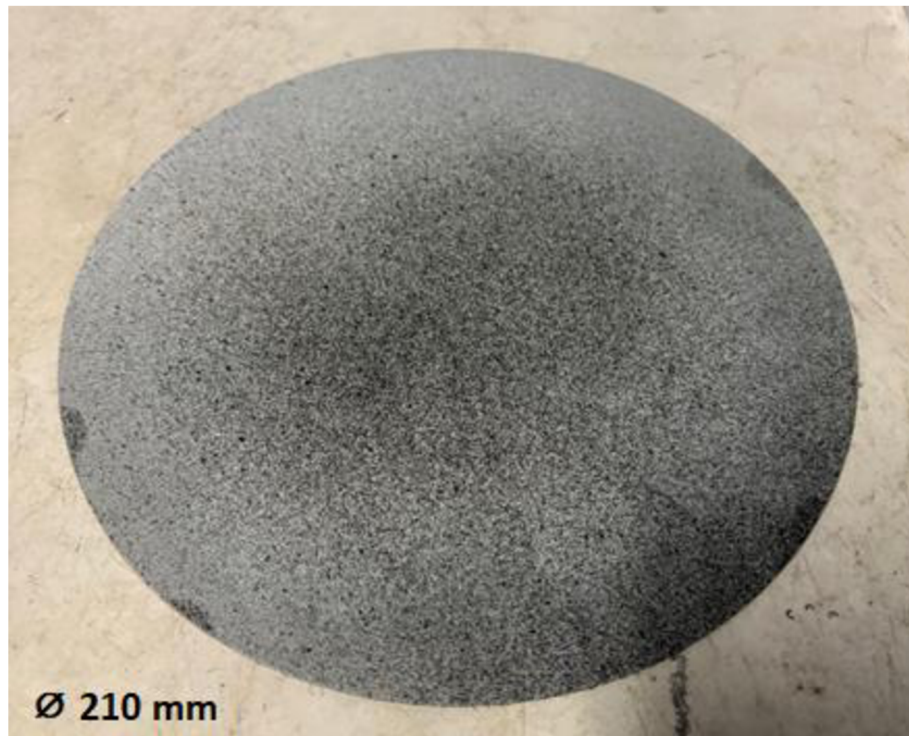
Nejprve byla nanесena bílá barva, viz (Obr. 48), kterou byl povrch pokryt a došlo k vytvoření jednolité bílé barvy, které sloužila jako podklad pro černou barvu. Poté se kruhový přístřih umístil pod fén pro dokonalé vysušení povrchu.



*Obr. 48 Nanесení bílé barvy.*

Dalším krokem bylo nanесení černé barvy na bílý povrch, viz (Obr. 49). Pro vytvoření dokonalého černobílého patternu bylo zapotřebí nanést černou barvu ve formě kapek. Po nástřiku černé barvy byl připraven pattern pro sledování průběhu deformace materiálu.





*Obr. 49 Černobílý pattern na povrchu plechu.*

#### **Nanesení přesné vrstvy oleje**

Pro experiment vlivu množství maziva při tažení plechu polokulovým tažníkem byly zvoleny reálné hodnoty množství maziva, které se objevují v procesu tažení plechu karosérie automobilu. Hodnoty, se kterými se pracovalo byly:

- 1 g/m<sup>2</sup> (hodnota, když dochází k nedostatečnému přísunu množství maziva)
- 1,5 g/m<sup>2</sup> (hodnota, která by měla odpovídat požadovanému přísunu množství maziva)
- 3 g/m<sup>2</sup> (hodnota, která odpovídá nadměrnému přísunu maziva do procesu)

Nanesení přesného množství maziva proběhlo na druhou stranu, než byl vytvořen černobílý pattern, to znamená na stranu, na kterou bude působit polokulový tažník. Po nanesení vrstvy maziva na povrch plechu bylo nutné zjistit jeho přesné množství, což proběhlo pomocí speciálního zařízení pro měření vrstvy maziva od firmy Infralytic GmbH, viz (Obr. 50).



*Obr. 50 Zařízení pro měření tloušťky vrstvy maziva na povrchu plechu.*

Po nanesení vrstvy maziva na povrch plechu, bylo přiloženo zařízení na měření tloušťky vrstvy maziva od firmy InfraLytic GmbH a po stisknutí tlačítka Select se po chvílce setrvání zobrazil údaj s výslednou hodnotou, viz (Obr. 51), a to pro hodnotu  $1 \text{ g/m}^2$ . Celý proces byl opakován pro 5 vzorků DP oceli a pro 5 vzorků EG-PH oceli.



*Obr. 51 Měření množství maziva pro požadovanou hodnotu  $1 \text{ g/m}^2$ .*

Další hodnotou bylo  $1,5 \text{ g/m}^2$ , a to opět pro 5 vzorků DP oceli a 5 vzorků EG-PH oceli, viz (Obr. 52).



*Obr. 52 Měření množství maziva pro požadovanou hodnotu  $1,5 \text{ g/m}^2$ .*

Poslední hodnotou byly  $3 \text{ g}$  maziva na  $\text{m}^2$ , a to opět pro 5 vzorků z DP oceli a 5 vzorků z EG-PH oceli, viz (Obr. 53).



*Obr. 53 Měření množství maziva pro požadovanou hodnotu  $3 \text{ g/m}^2$ .*



## Provedení tažení plechu polokulovým tažníkem

Dalším krokem při zjišťování vlivu množství maziva byla samotná simulace reálného tažení plechu v procesu, a to za pomoci polokulového tažníku. Proces tažení byl proveden na hydraulickém lisu CBA 300/63 v laboratořích TUL Liberec, viz (Obr. 54).



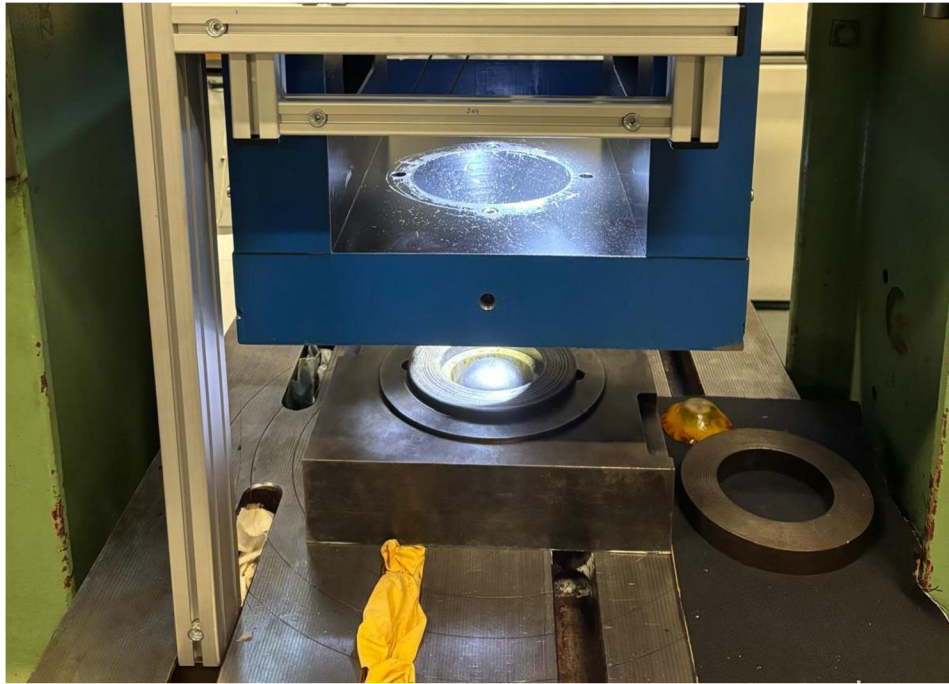
*Obr. 54 Pohled na strojní zařízení pro zjišťování vlivu maziva na proces tažení.*

Nejprve byly nastaveny parametry pohybu tažníku. Jako první byl nastaven rozsah pohybu tažníku, a to na hodnoty dolní úvrati (40 mm) a horní úvrati (122 mm). Dále byla nastavena síla tažníku na 250 kN a rychlost posuvu tažníku byla nastavena na 50 %, to znamená 10 mm/s. Vše se nastavilo na displeji, který je umístěn přímo na stroji, viz (Obr. 55).



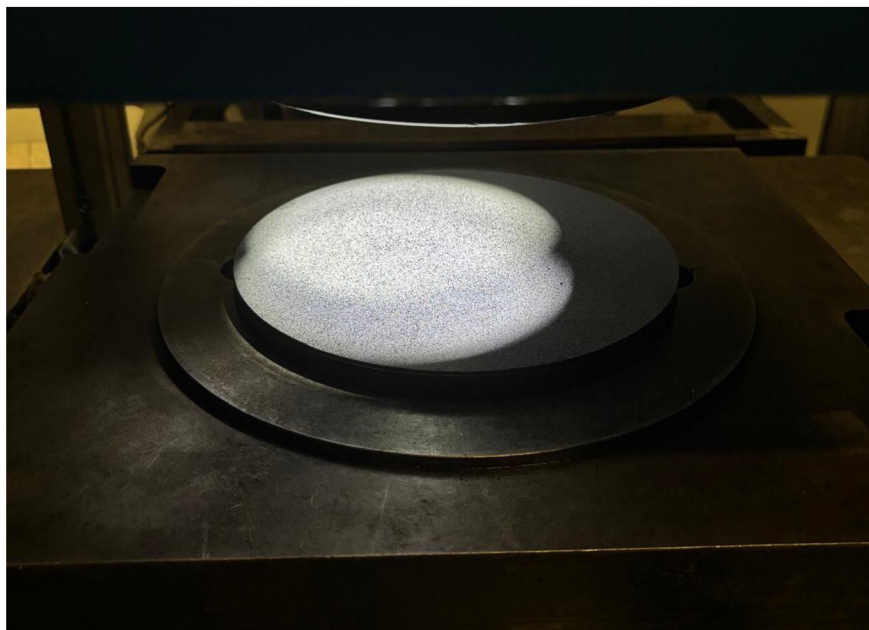
*Obr. 55 Nastavení parametrů tažení.*

Následovalo připravení prostoru pro založení kruhového přístřihu, kde lze také vidět polokulový tažník, viz (Obr. 56).



*Obr. 56 Pohled do prostoru polokulového tažníku.*

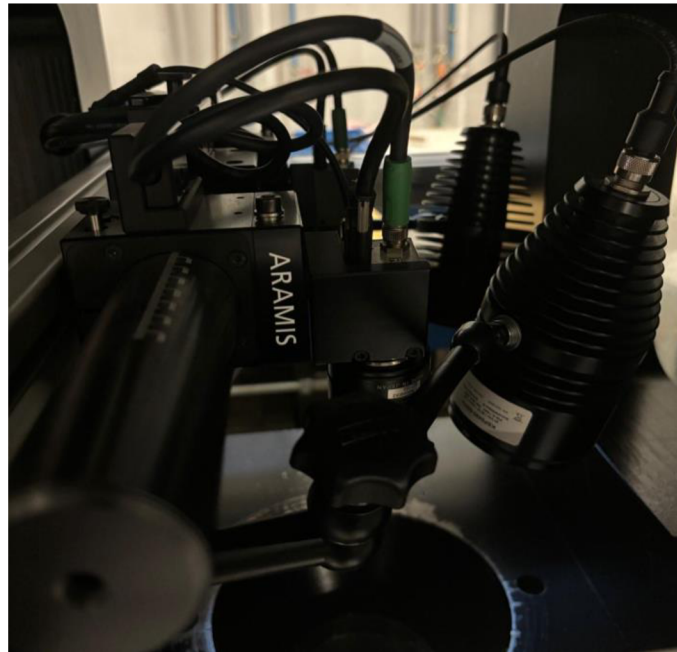
Jednou z posledních věcí bylo založení samotného přístřihu, viz (Obr. 57), který byl přesně vycentrován do středu a vložen přesně kolmo na směr válcování, který byl označen čarou přes celý průměr. Po založení přístřihu došlo k najetí vrchní části lisu na budoucí výtažek a po obvodu byl uchycen s přidržovací silou 1500 kN, která pevně držela materiál v jedné poloze.



*Obr. 57 Založení kruhového přístřihu.*



Poslední fází bylo spuštění procesu tažení, kdy došlo k tažení plechu až po vznik trhliny v materiálu. Celý proces byl monitorován fotogrammetrickou metodou, a to fotografickým zařízením od firmy Zeiss GOM (systém Aramis), viz (Obr. 58). Na proces dohlížela dvojice kamer, která zaznamenávala fotografie a odesílala je do softwaru GOM Correlate.



*Obr. 58 Fotogrammetrické zařízení Zeiss GOM (Aramis).*

Po zaznamenání všech potřebných hodnot do softwaru GOM byl vyjmut zdeformovaný výtažek a následoval naprosto stejný způsob měření pro všechny ostatní připravené zkušební vzorky, viz (Obr. 59).



*Obr. 59 Zdeformované vzorky.*

### 3.1.2 Vyhodnocení průběhu deformace v softwaru GOM

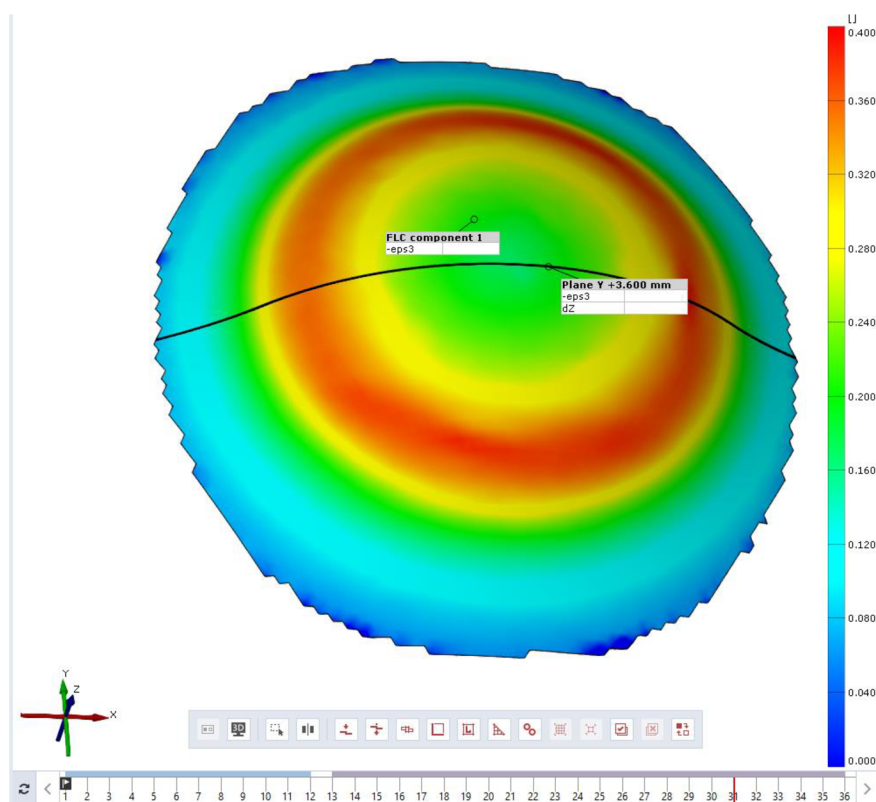
Vyhodnocení výsledku z monitorování deformace pomocí fotogrammetrické metody probíhalo v softwaru GOM Correlate od firmy Zeiss. Zde byly uloženy všechny fotografie průběhů jednotlivých měření. Pro získání finálních hodnot bylo potřeba získat průběh dvou grafů, a to zaprvé průřez výtažkem po tažení (pro zjištění nejvyššího bodu) a zadruhé průběh zúžení stěny výtažku. Pro získání těchto hodnot bylo nutné v softwaru GOM Correlate provést několik kroků.

#### Vybrání sítě na povrch výtažku

Prvním krokem v softwaru GOM bylo vybrání sítě, která se chytla na povrch černobílého patternu. Je to automatický krok, který software vytvoří sám, ale je nutné provést kontrolu, aby nedošlo ke špatnému zachycení sítě a vzniku problému v dalších fázích vyhodnocování.

#### Vybrání poslední fotografie před porušením výtažku

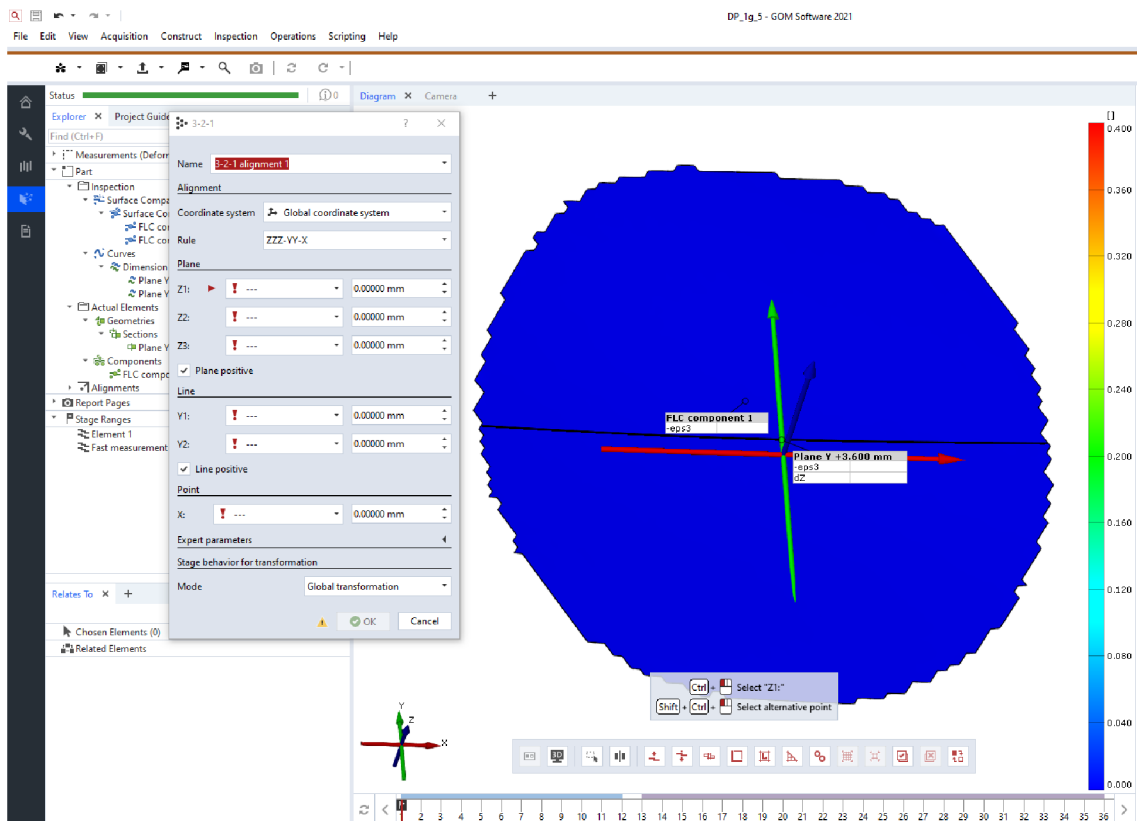
Ve spodní části prostředí softwaru GOM Correlate na liště, která je popsána počtem celkových provedených fotek, byla vybrána poslední fotografie před vznikem trhliny ve výtažku, konkrétně fotografie č. 31, viz (Obr. 60). S touto fotografií se počítalo v následujícím průběhu, kde byla brána jako maximální hodnota přípustné deformace.



**Obr. 60** Ukázka výběru poslední fotografie před vznikem trhliny.

## Stanovení 3D souřadného systému (metoda 3-2-1)

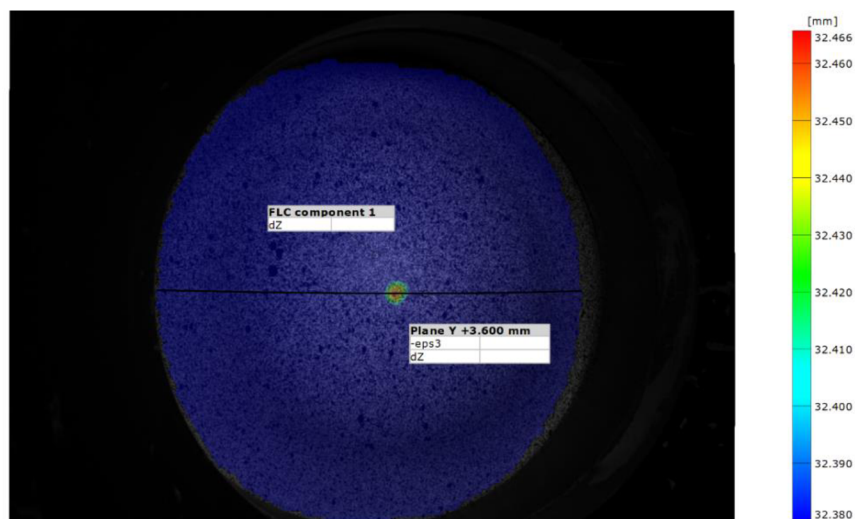
Dalším krokem v procesu bylo vybrání 3D souřadného systému, díky kterému se bude následně provádět řez materiálem. Pro tento krok byla vybrána metoda 3-2-1, což znamená nejprve položení 3 bodů na černobílý pattern, které vytvořily rovinu. Dále položení dalších dvou bodů, který vytvořily úsečku, a nakonec položení posledního bodu pro dokončení tvorby 3D souřadného systému. Ten již byl pevně přichycen na povrch materiálu a bylo možné dále provádět výpočet, viz (Obr. 61).



Obr. 61 Použití metody 3-2-1.

## Vyhledání nejvyššího bodu výtažku

Vyhledávání nejvyššího bodu výtažku se provádělo pro určení přesného středu, od kterého se následně odvíjelo i proložení křivky řezu tímto bodem. Cílem bylo získat co nejpřesnější hodnotu na ose Z, což vyžadovalo úpravu měřítka a tím vytvoření červeného bodu. Ten znázorňoval maximum na ose Z, viz (Obr. 62). Nejvyšším bodem byl následně proložen řez.



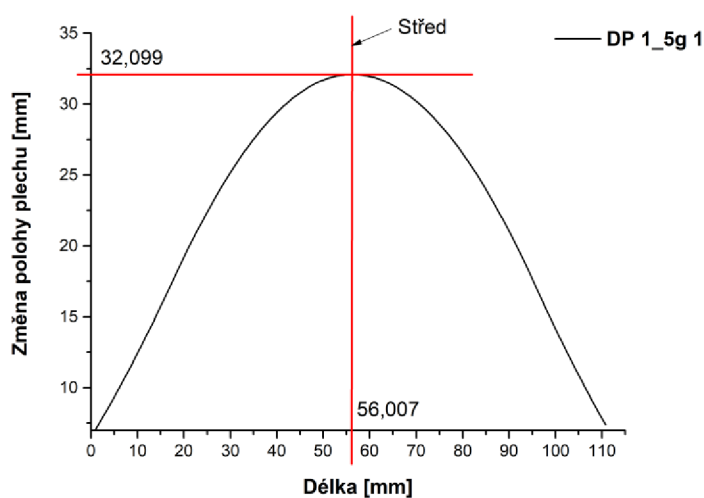
*Obr. 62 Nejvyšší bod výtažku.*

### Získ výsledných hodnot a grafů

Pro vygenerování grafů a jejich hodnot, bylo nutné zvolit co požadujeme vidět jako výsledek. Zprvce to bylo zúžení stěny a za druhé změna polohy v ose Z. Tyto grafy byly získány obdobným způsobem pro všech 30 měření. Následně proběhlo vyexportování všech hodnot do softwaru Microsoft Excel, kde došlo k dalšímu zpracování.

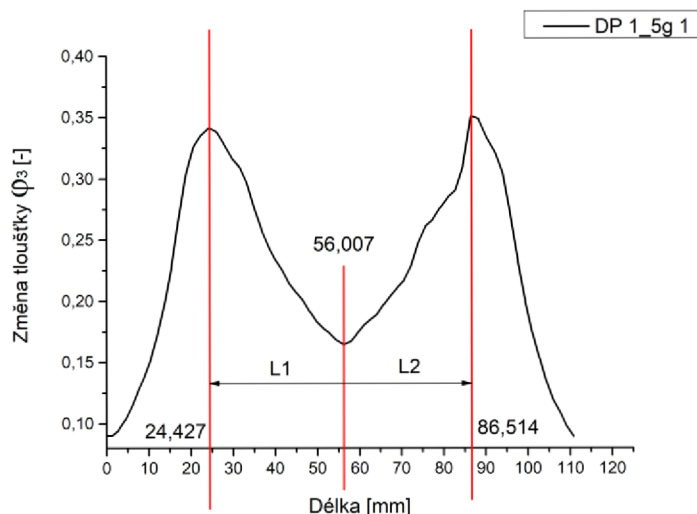
### Vyhodnocení dat

Konečné zpracování dat proběhlo v softwaru Microsoft Excel, kde z vyexportovaných hodnot bylo snahou získat data o pohybu deformace v závislosti na množství použitého maziva. Vyhodnocení probíhalo sledováním pohybu největšího zúžení stěny ve vzdálenosti od středu výtažku. To znamená, že nejprve bylo zapotřebí najít maximální hodnotu posunu stěny výtažku (nejvyšší bod), viz (Obr. 63).



*Obr. 63 Graf souřadnic bodů řezu v ose Z.*

Z prvního grafu byla získána středová hodnota, která byla následně využita v dalším grafu, kde se proložila jako čára středem. Poté bylo zapotřebí najít dvě hodnoty maximálního zúžení, kterými se také proložily dvě čáry. Nakonec se na ose X odečetly hodnoty vzdáleností L1 a L2, viz (Obr. 64).

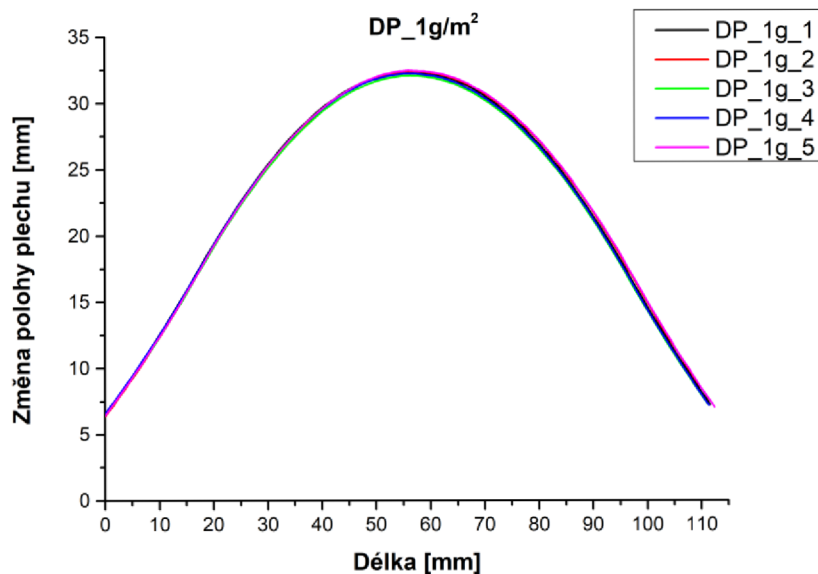


**Obr. 64** Graf zúžení stěny výtazku.

Tyto grafy byly sestaveny pro oba materiály a všechny hodnoty množství maziva a lze je vidět v následujících obrazech:

- **DP ocel, grafy pro 1 g/m<sup>2</sup> maziva**

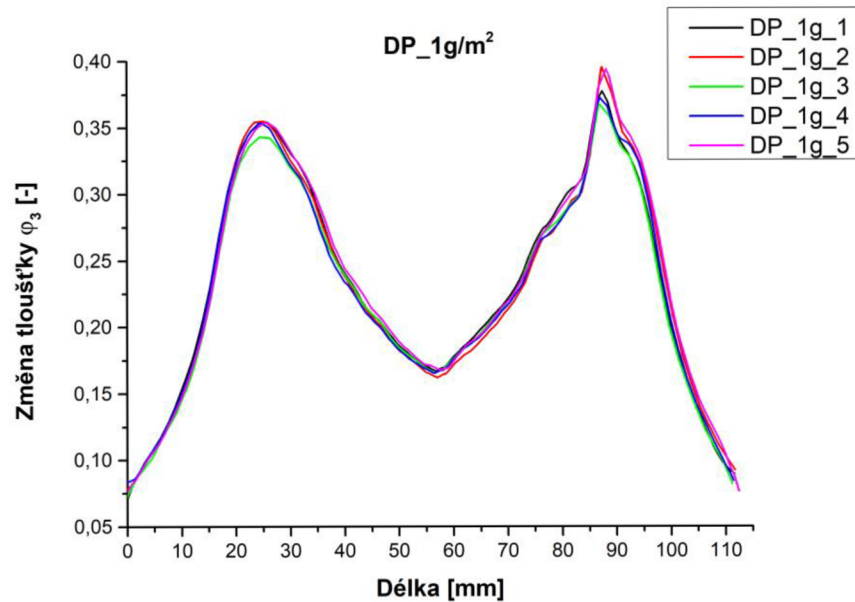
Průběh hodnot měření změny polohy plechu při 1 g maziva na m<sup>2</sup> před vznikem trhliny v materiálu, viz (Obr. 65).



**Obr. 65** Změna polohy plechu pro DP ocel při 1 g/m<sup>2</sup>.



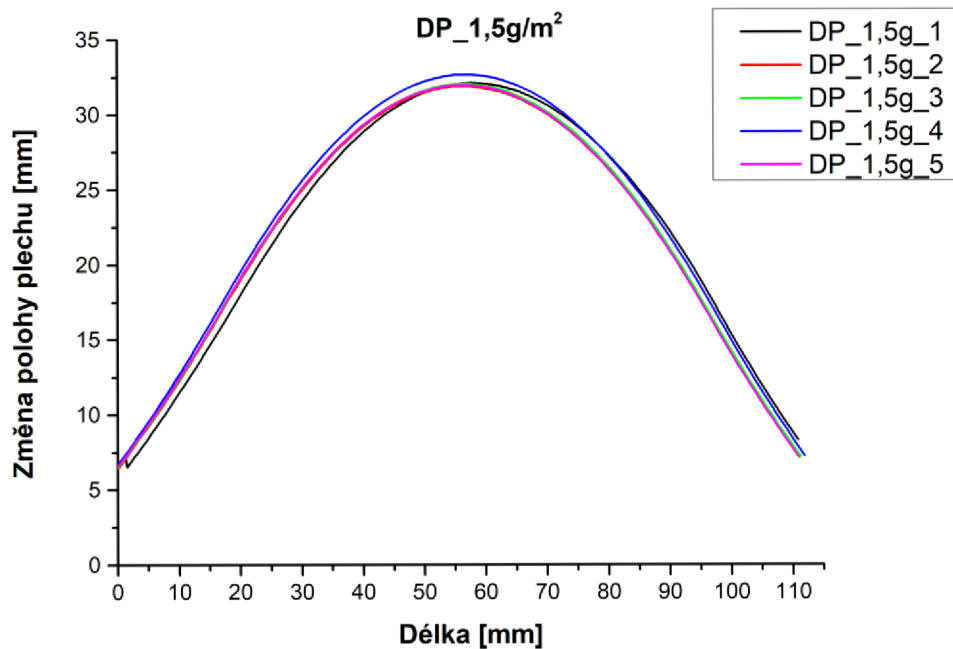
Průběh změny tloušťky materiálu před vznikem trhliny při 1 g maziva na m<sup>2</sup>, viz (Obr. 66).



*Obr. 66* Změna tloušťky plechu pro DP ocel při 1 g/m<sup>2</sup>.

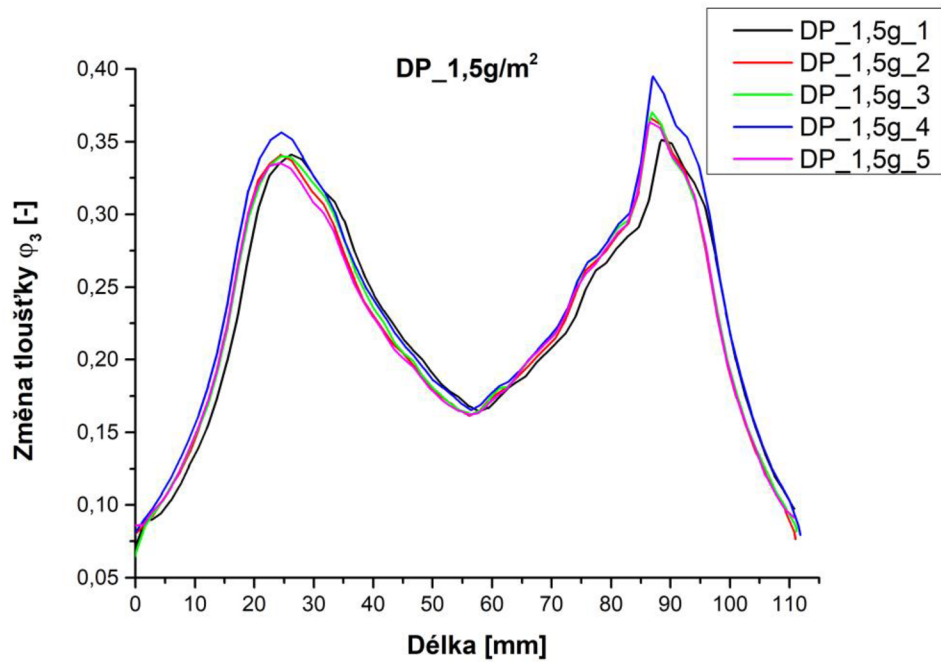
- DP ocel, grafy pro 1,5 g/m<sup>2</sup> maziva

Průběh hodnot měření změny polohy plechu při 1,5 g maziva na m<sup>2</sup> před vznikem trhliny v materiálu, viz (Obr. 67).



*Obr. 67* Graf souřadnic bodů řezu v ose Z plechu pro DP ocel při 1,5 g/m<sup>2</sup>.

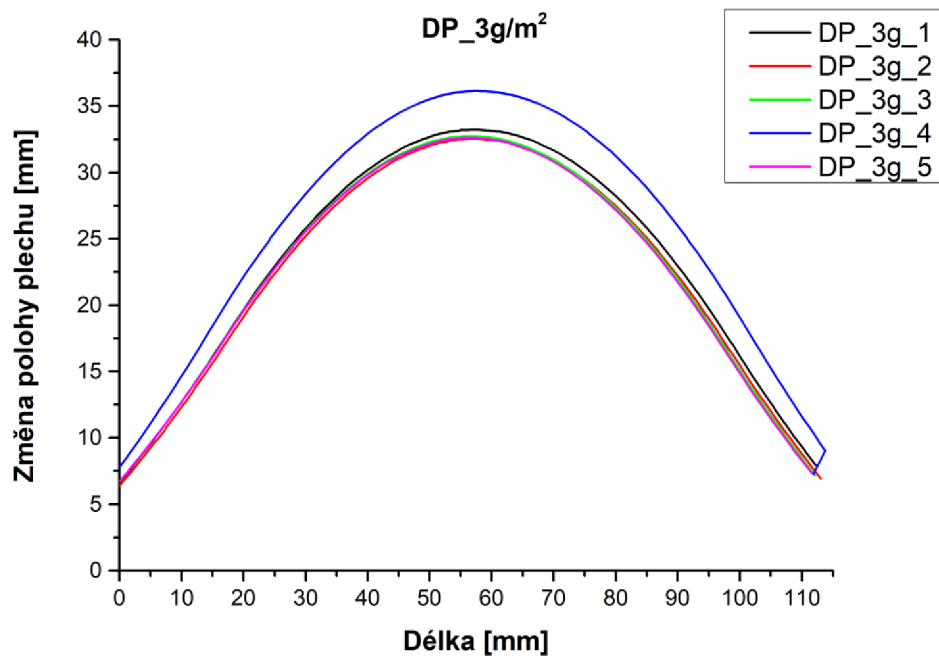
Průběh změny tloušťky materiálu před vznikem trhliny při 1,5 g maziva na m<sup>2</sup>, viz (Obr. 68).



*Obr. 68* Změna tloušťky plechu pro DP ocel při 1,5 g/m<sup>2</sup>.

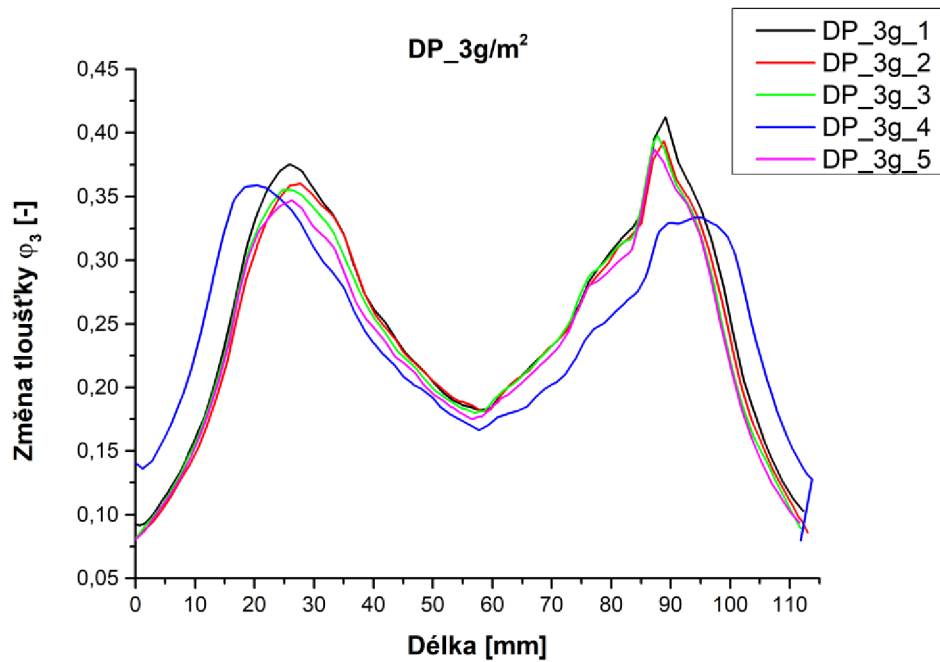
- **DP ocel, grafy pro 3 g/m<sup>2</sup> maziva**

Průběh hodnot měření změny polohy plechu při 3 g maziva na m<sup>2</sup> před vznikem trhliny v materiálu, viz (Obr. 69).



*Obr. 69* Graf souřadnic bodů řezu v ose Z plechu pro DP ocel při 3 g/m<sup>2</sup>

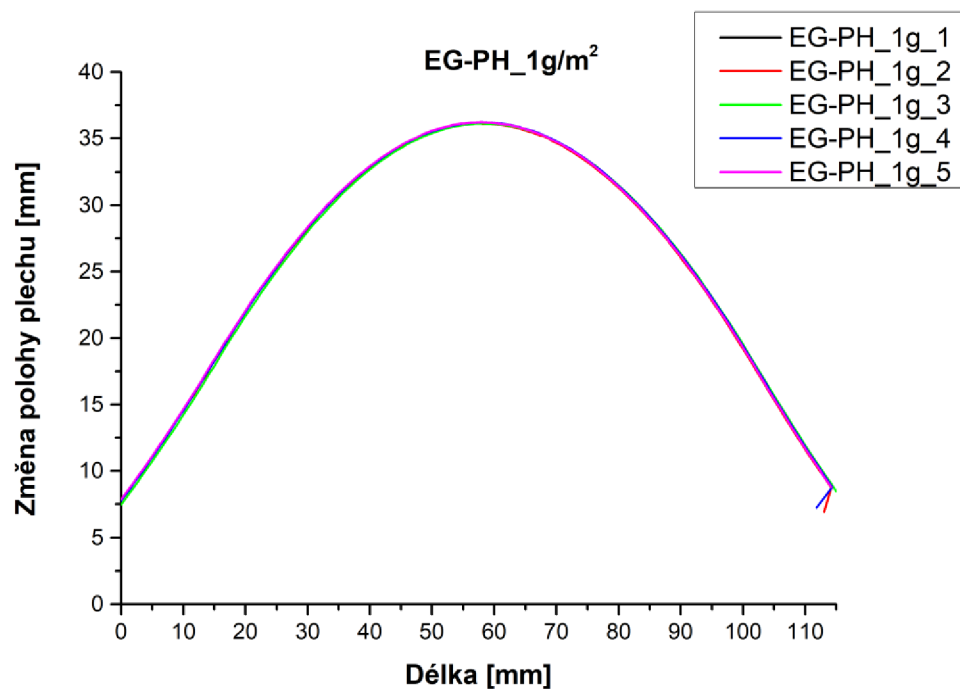
Průběh změny tloušťky materiálu před vznikem trhliny při 3g maziva na m<sup>2</sup>, viz (Obr. 70).



**Obr. 70** Změna tloušťky plechu pro DP ocel při 3 g/m<sup>2</sup>

- **EG-PH ocel, grafy pro 1 g/m<sup>2</sup> maziva**

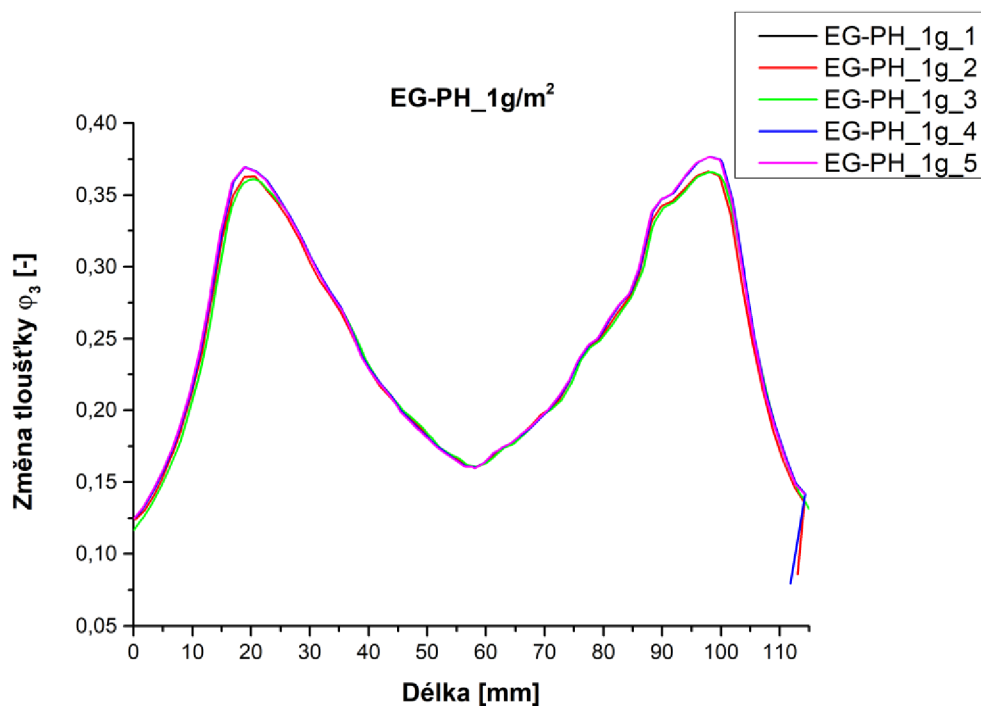
Průběh hodnot měření změny polohy plechu při 1 g maziva na m<sup>2</sup> před vznikem trhliny v materiálu, viz (Obr. 71).



**Obr. 71** Graf souřadnic bodů řezu v ose Z plechu pro EG-PH ocel při 1 g/m<sup>2</sup>



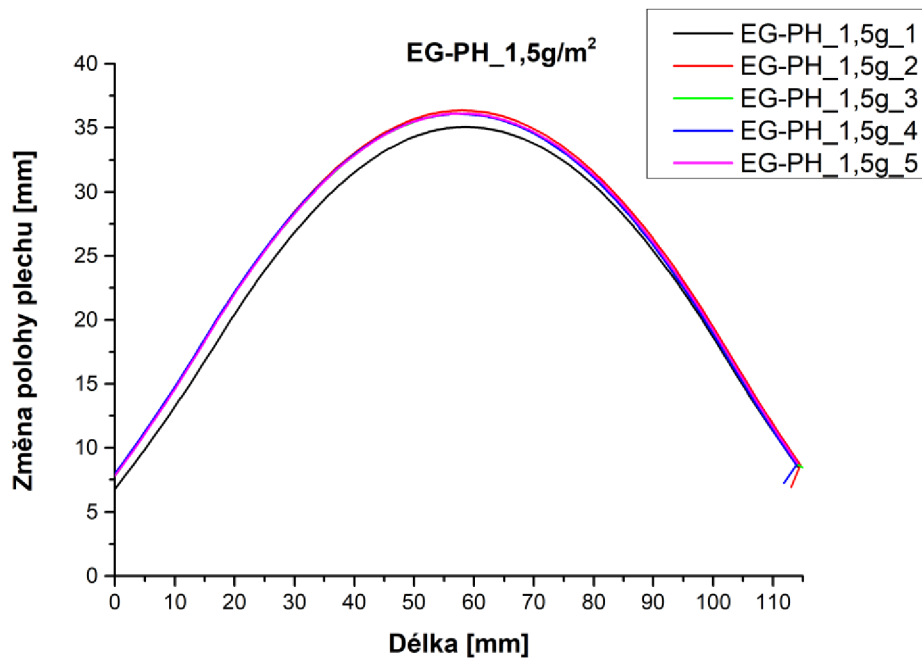
Průběh změny tloušťky materiálu před vznikem trhliny při 1 g maziva na m<sup>2</sup>, viz (Obr. 72).



**Obr. 72** Změna tloušťky plechu pro EG-PH ocel při 1 g/m<sup>2</sup>.

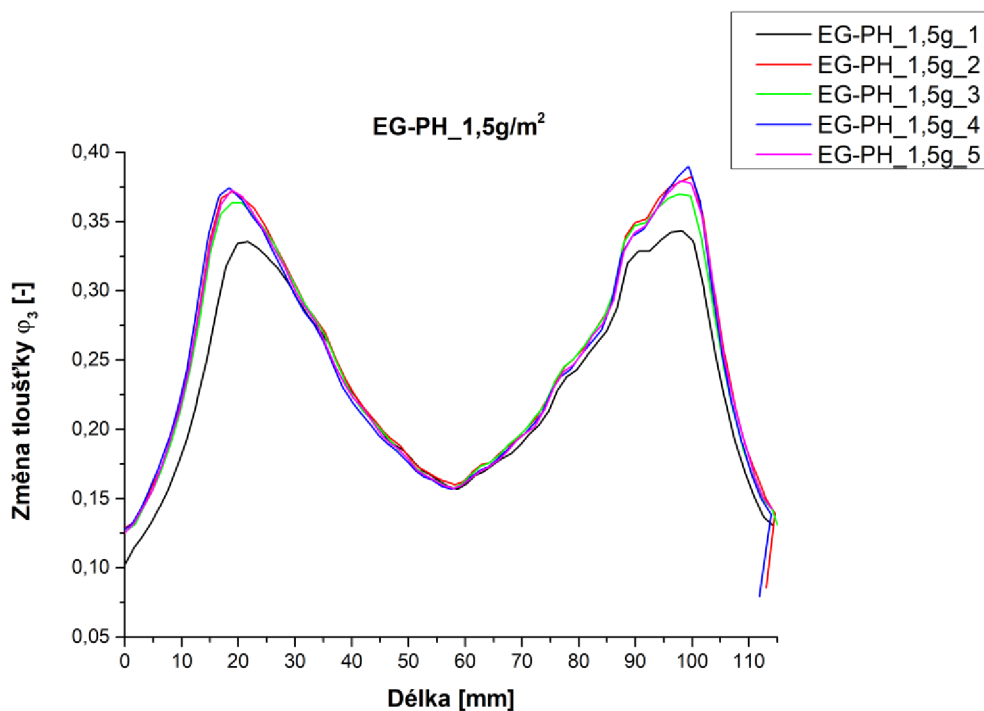
- **EG-PH ocel, grafy pro 1,5 g/m<sup>2</sup> maziva**

Průběh hodnot měření změny polohy plechu při 1,5 g maziva na m<sup>2</sup> před vznikem trhliny v materiálu, viz (Obr. 73).



**Obr. 73** Graf souřadnic bodů řezu v ose Z plechu pro EG-PH ocel při 1,5 g/m<sup>2</sup>

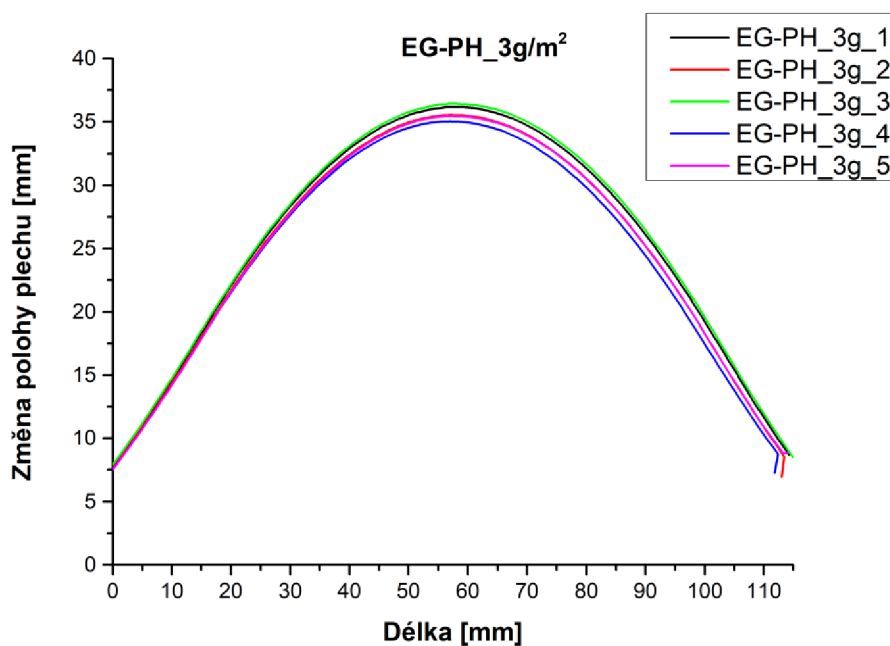
Průběh změny tloušťky materiálu před vznikem trhliny při 1,5 g maziva na m<sup>2</sup>, viz (Obr. 74).



*Obr. 74 Změna tloušťky plechu pro EG-PH ocel při 1,5 g/m<sup>2</sup>.*

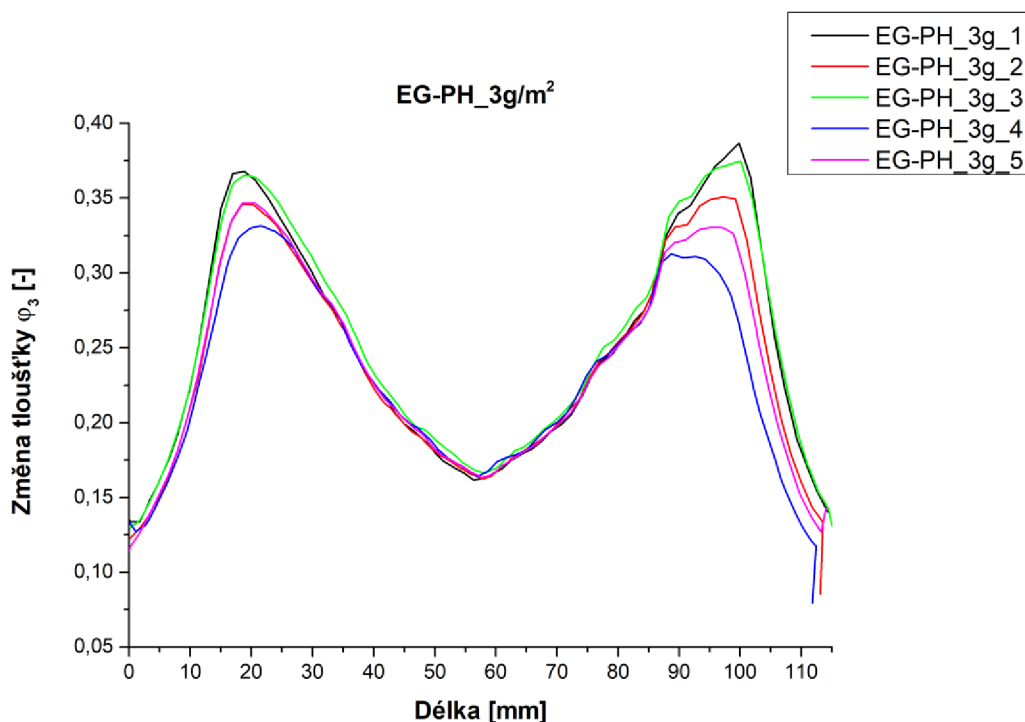
- **EG-PH ocel, grafy pro 3 g/m<sup>2</sup> maziva**

Průběh hodnot měření změny polohy plechu při 3 g maziva na m<sup>2</sup> před vznikem trhliny v materiálu, viz (Obr. 75).



*Obr. 75 Graf souřadnic bodů řezu v ose Z plechu pro EG-PH ocel při 3 g/m<sup>2</sup>.*

Průběh změny tloušťky materiálu před vznikem trhliny při 3 g maziva na m<sup>2</sup>, viz (Obr. 76).



**Obr. 76** Změna tloušťky plechu pro EG-PH ocel při 3 g/m<sup>2</sup>.

### Tabulky výsledných hodnot

Pro lepší přehled ve výsledcích a pro přesnější hodnoty výsledků se finální hodnoty braly z vygenerovaných dat do Excelu. Zde byly nalezeny všechny hodnoty, které odpovídaly všem bodům získaných z grafu. Tyto číselné hodnoty po nalezení byly zapsány do tabulky, kde s nimi bylo dále pokračováno.

### DP ocel 1 g/m<sup>2</sup>

Do dalších tabulek byl následně zpracován kompletní výpis všech získaných hodnot. Prvním testovaným vzorkem byla DP ocel při použití 1 g maziva na m<sup>2</sup>, viz (Tab. 4).

**Tab. 4** Souřadnice bodů DP ocel 1 g/m<sup>2</sup>.

Vzorek 1 g/m <sup>2</sup>	Vrchol 1	Střed	Vrchol 2
DP_1g_1	24,681	55,913	87,420
DP_1g_2	24,430	56,475	87,319
DP_1g_3	24,436	56,216	86,850
DP_1g_4	24,600	55,957	86,962
DP_1g_5	25,441	56,183	88,127

Díky jednoduchému výpočtu, byly z hodnot v Tabulce 4 získány konečné hodnoty délky L1 a L2, které se následně porovnávaly pro dosažení požadovaných výsledků.

$$L1 = \text{Střed} - \text{Vrchol 1} \quad (1) \qquad L2 = \text{Vrchol 2} - \text{Střed} \quad (2)$$

$$L1 = 55,913 - 24,681$$

$$L2 = 87,420 - 55,913$$

$$L1 = 31,232 \text{ mm}$$

$$L2 = 31,507$$

Výsledkem je tabulka hodnot pro vzorky z DP oceli při použití 1 g maziva na m<sup>2</sup>, viz (Tab. 5).

**Tab. 5** Hodnoty L1 a L2 DP ocel 1 g/m<sup>2</sup>.

Vzorek DP 1 g/m <sup>2</sup>	L1	L2
1	31,232	31,507
2	32,045	30,844
3	31,780	30,633
4	31,356	31,005
5	30,741	31,944
Průměr hodnot	<b>31,431</b>	<b>31,187</b>
s	0,505	0,532

### DP ocel 1,5 g/m<sup>2</sup>

Tabulka získaných kritických bodů pro DP oceli při použití 1,5 g maziva na m<sup>2</sup>, viz (Tab. 6).

**Tab. 6** Souřadnice bodů DP oceli 1,5 g/m<sup>2</sup>.

Vzorek 1,5 g/m <sup>2</sup>	Vrchol 1	Střed	Vrchol 2
DP_1,5g_1	24,427	56,007	86,514
DP_1,5g_2	24,396	56,170	86,572
DP_1,5g_3	24,501	56,080	86,854
DP_1,5g_4	24,516	56,443	87,034
DP_1,5g_5	24,356	55,894	86,493

Tabulka výsledných hodnot L1 a L2 pro DP oceli při použití 1,5 g maziva na m<sup>2</sup>, viz (Tab. 7).

**Tab. 7** Hodnoty L1 a L2 DP oceli 1,5 g/m<sup>2</sup>.

Vzorek DP 1,5 g/m <sup>2</sup>	L1	L2
1	31,580	30,507
2	31,773	30,402
3	31,578	30,775
4	31,927	30,591
5	31,537	30,599
Průměr hodnot	<b>31,679</b>	<b>30,575</b>
s	0,166	0,137

### DP ocel 3 g/m<sup>2</sup>

Tabulka získaných kritických bodů pro DP oceli při použití 3 g maziva na m<sup>2</sup>, viz (Tab. 8).

**Tab. 8** Souřadnice bodů DP oceli 3 g/m<sup>2</sup>.

Vzorek 3 g/m <sup>2</sup>	Vrchol 1	Střed	Vrchol 2
DP_3g_1	25,691	56,531	89,089
DP_3g_2	27,613	56,496	88,852
DP_3g_3	24,667	56,309	87,773
DP_3g_4	24,328	57,713	89,449
DP_3g_5	26,053	56,201	87,237

Tabulka výsledných hodnot L1 a L2 pro DP oceli při použití 3 g maziva na m<sup>2</sup>, viz (Tab. 9).

**Tab. 9** Hodnoty L1 a L2 DP oceli 3 g/m<sup>2</sup>.

Vzorek DP 3 g/m <sup>2</sup>	L1	L2
1	30,840	32,558
2	28,883	32,356
3	31,643	31,463
4	33,385	31,736
5	30,148	31,036
Průměr hodnot	<b>30,980</b>	<b>31,830</b>
s	1,683	0,628

### EG-PH ocel 1 g/m<sup>2</sup>

Tabulka získaných kritických bodů pro EG-PH při použití 1 g maziva na m<sup>2</sup>, viz (Tab. 10).

*Tab. 10* Souřadnice bodů EG-PH oceli 1 g/m<sup>2</sup>.

Vzorek 1 g/m <sup>2</sup>	Vrchol 1	Střed	Vrchol 2
EH-PH_1g_1	20,647	57,916	97,926
EH-PH_1g_2	20,650	57,757	97,935
EH-PH_1g_3	20,593	58,236	98,582
EH-PH_1g_4	19,004	57,923	98,182
EH-PH_1g_5	18,798	57,667	98,012

Tabulka výsledných hodnot L1 a L2 pro EG-PH ocel při použití 1 g maziva na m<sup>2</sup>, viz (Tab. 11).

*Tab. 11* Hodnoty L1 a L2 EG-PH oceli 1 g/m<sup>2</sup>.

Vzorek EH-PH 1 g/m <sup>2</sup>	L1	L2
1	37,269	40,010
2	37,107	40,178
3	37,643	40,346
4	38,919	40,258
5	38,868	40,345
Průměr hodnot	<b>37,961</b>	<b>40,228</b>
s	0,873	0,140

### EG-PH ocel 1,5 g/m<sup>2</sup>

Tabulka získaných kritických bodů pro EG-PH ocel při použití 1,5g maziva na m<sup>2</sup>, viz (Tab. 12).

*Tab. 12* Souřadnice bodů EG-PH oceli 1,5 g/m<sup>2</sup>.

Vzorek 1,5 g/m <sup>2</sup>	Vrchol 1	Střed	Vrchol 2
EH-PH_1_5g_1	21,500	58,535	98,093
EH-PH_1_5g_2	18,839	57,863	99,793
EH-PH_1_5g_3	20,627	57,783	97,808
EH-PH_1_5g_4	18,397	57,450	99,292
EH-PH_1_5g_5	18,817	57,821	97,866

Tabulka výsledných hodnot L1 a L2 pro EG-PH ocel při použití 1,5g maziva na m<sup>2</sup>, viz (Tab. 13).

**Tab. 13** Hodnoty L1 a L2 EG-PH oceli 1,5 g/m<sup>2</sup>.

Vzorek EG-PH 1,5 g/m <sup>2</sup>	L1	L2
1	37,034	39,558
2	39,024	41,929
3	37,156	40,024
4	39,053	41,842
5	39,004	40,045
Průměr hodnot	<b>38,254</b>	<b>40,680</b>
s	1,059	1,118

### EG-PH ocel 3 g/m<sup>2</sup>

Tabulka získaných kritických bodů pro EG-PH ocel při použití 3 g maziva na m<sup>2</sup>, viz (Tab. 14).

**Tab. 14** Souřadnice bodů EG-PH oceli 3 g/m<sup>2</sup>.

Vzorek 3 g/m <sup>2</sup>	Vrchol 1	Střed	Vrchol 2
EH-PH _3g_1	18,855	57,818	99,709
EH-PH _3g_2	18,759	57,253	97,242
EH-PH _3g_3	19,084	57,784	99,938
EH-PH _3g_4	21,528	56,953	92,833
EH-PH _3g_5	18,715	57,391	94,965

Tabulka výsledných hodnot L1 a L2 pro EG-PH ocel při použití 3 g maziva na m<sup>2</sup>, viz (Tab. 15).

**Tab. 15** Hodnoty L1 a L2 EG-PH oceli 3 g/m<sup>2</sup>.

Vzorek EH-PH 3 g/m <sup>2</sup>	L1	L2
1	38,963	41,891
2	38,494	39,989
3	38,700	42,154
4	35,426	35,880
5	38,676	37,574
Průměr hodnot	<b>38,052</b>	<b>39,497</b>
s	1,478	2,730

### Celkové porovnání výsledných hodnot L1 a L2 u obou materiálů

Tabulka výsledných hodnot pro oba materiály a všechny použité množství maziva jsou zobrazeny viz (Tab. 16).

**Tab. 16** Výsledné porovnání hodnot L1 a L2.

	DP ocel	
	L1	L2
1 g	31,431 ± 0,505	31,187 ± 0,532
1,5 g	31,679 ± 0,166	30,575 ± 0,137
3 g	30,980 ± 1,683	31,830 ± 0,628
	EG-PH ocel	
	L1	L2
1 g	37,961 ± 0,873	40,228 ± 0,140
1,5 g	38,254 ± 1,059	40,680 ± 1,118
3 g	38,052 ± 1,478	39,497 ± 2,730

#### 3.1.3 Statistické vyhodnocení

Statistické vyhodnocení výsledků měření proběhlo pomocí metody ANOVA, což je analýza rozptylu. Tento nástroj umožňuje ověření, zda má na výsledné hodnoty vliv nějaká z veličin, která do výpočtu vstupuje. Existují dva typy, a to jednofaktorová ANOVA (jedna nezávislá proměnná) a dvoufaktorová ANOVA, která se využívá pro případ, že do ní vstupují dvě a více veličin. Hlavním cílem je zjistit, zda se průměrné hodnoty v daných skupinách od sebe liší významným způsobem. Nejprve je potřeba zjistit hodnotu tzv. F-statistiky, což je poměr meziskupinového rozptylu k vnitroskupinovému rozptylu. Následně je tato hodnota porovnávána s tzv. F-kritickou, která závisí na počtu skupin a počtu celkových dat. Pokud hodnota  $F < F_{krit}$  znamená to, že není mezi hodnotami statisticky významný rozdíl.

Pro testované vzorky z DP oceli a EG-PH oceli byla provedena dvoufaktorová anova s opakováním, testované hodnoty viz. (Tab. 17)



**Tab. 17** Hodnoty vstupující do statistického vyhodnocení ANOVA.

DP ocel				EG-PH ocel			
	1 g	1,5 g	3 g		1 g	1,5 g	3 g
L1	31,232	31,58	30,84	L1	37,269	37,034	38,963
	32,045	31,773	28,883		37,107	39,024	38,494
	31,78	31,578	31,643		37,643	37,156	38,7
	31,356	31,927	33,385		38,919	39,053	35,426
	30,741	31,537	30,148		38,869	39,004	38,676
L2	31,507	30,507	32,558	L2	40,01	39,558	41,891
	30,844	30,402	32,356		40,178	41,929	39,989
	30,633	30,775	31,463		40,346	40,024	42,154
	31,005	30,591	31,736		40,258	41,842	35,88
	31,944	30,599	31,036		40,345	40,045	37,574

Výsledné hodnoty porovnání jsou uvedeny v přílohách 7-8, kde bylo zjištěno, že vliv množství maziva nemá vliv ani na jeden ze dvou testovaných materiálů. Hodnota  $F$  u DP oceli vyšla 0,313428 a  $F_{krit}$  3,402826, což znamená, že  $F < F_{krit}$ . Hodnota  $F$  u EG-PH oceli vyšla 0,562972 a  $F_{krit}$  3,402826, což opět znamená, že  $F < F_{krit}$ .

## 4. Diskuze výsledků

Jelikož má tření velký vliv při procesu tažení plechu, bylo očekáváno, že při kontaktu plechu s tažníkem bude vznikat tření, které bude brzdit deformaci na tažníku, tzn. že čím větší bude, tím se trhлина bude posouvat dále od vrcholu tažníku. Pokud by kontakt mezi plechem a tažníkem byl zcela bez tření, tak by trhлина v materiálu vznikala v nejvyšším bodě tažníku. Z tohoto důvodu bylo nutné otestovat více hodnot množství naneseného maziva. Dále bylo také zapotřebí zjistit mechanické hodnoty materiálů, jelikož byly testovány dva materiály, a to DP ocel a hlubokotažná ocel. Obecně platí, že materiál s vyšší pevností (DP ocel) může mít menší tažnost než materiál s nižší pevností, což by mohlo mít vliv na vzdálenost deformace od středu vzorku.

Na začátku experimentu byla provedena zkouška tahem na stroji TIRA Test 2300 pro zjištění materiálových vlastností dvou testovaných materiálů. Testovanými materiály byly DP ocel (CR290Y490T-DP-E29/29-E-P-O) a EG-PH ocel (CR4EG29/29-E-P-O). Vytvořeno bylo 5 vzorků pro každý směr válcování materiálu ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ), to znamená 15 vzorků pro každý materiál. Získané hodnoty vlastností jednotlivých materiálů a průběhů zkoušky tahem jsou uvedeny v přílohách 1-6. Zjištěno bylo, že materiál z DP oceli dosahuje menší tažnosti než materiál z hlubokotažné oceli. Dále bylo provedeno samotné testování vlivu množství maziva při tažení plechu polokulovým tažníkem, pro které bylo potřeba připravit kruhové přístřihy. Celkově bylo připraveno 30 kruhových přístřihů, na které se naněsli černobílý pattern, ten bylo nutné vytvořit pro následně zkoumání deformace plechu pomocí fotogrammetrické metody. Po zaschnutí černobílého patternu byly na plech nanášeny 3 různé množství vrstev maziva, a to konkrétně 1, 1.5 a 3 g/m<sup>2</sup>. Testováno pro každé množství maziva bylo 5 vzorků. Měření množství maziva naneseného na plech se provedlo pomocí přístroje Infralytic GmbH, který okamžitě ukazoval přesné hodnoty. Testované hodnoty byly zvoleny tak, aby co nejpřesněji zachycovaly reálné hodnoty v procesu tažení plechu karosérie. Následně proběhlo samotné tažení plechu polokulovým tažníkem, kde snímání celé deformace plechu proběhlo pomocí fotogrammetrické metody, a to kamerami od firmy Zeiss. Tažení plechu se provedlo až do úplné deformace materiálu, kdy vznikla v materiálu trhлина. Celý zaznamenaný průběh tažení všech vzorků byl zpracován v softwaru GOM Correlate od firmy Zeiss. V tomto softwaru byly následně získány hodnoty změny polohy plechu v průběhu tváření a také změna tloušťky materiálu v celém průběhu tváření. Všechny získané hodnoty byly následně vyexportovány do programu Microsoft Excel, kde proběhl výpočet konečných výsledků experimentu.

Z vyexportovaných hodnot se nejprve zjistila hodnota změny polohy tažníku v ose Z, kde se zaznamenala hodnota nejvyššího bodu plechu, a to v poslední moment před vznikem trhliny v materiálu. Následně se od tohoto bodu odečítala vzdálenost na obě strany k bodům, kde v moment před vznikem trhliny došlo k největšímu zmenšení tloušťky materiálu. Z těchto vzdáleností byly získány hodnoty L1 a L2 pro každý vzorek, ze kterých se vypočítaly konečné výsledky, viz (Tab. 18). Nakonec bylo aplikováno statistické vyhodnocení pomocí nástroje ANOVA, kde bylo zjištěno, že změna množství maziva nemá vliv na výsledné hodnoty.

**Tab. 18** Výsledné porovnání hodnot L1 a L2.

	DP ocel	
	L1	L2
1 g	31,431 ± 0,505	31,187 ± 0,532
1,5 g	31,679 ± 0,166	30,575 ± 0,137
3 g	30,980 ± 1,683	31,830 ± 0,628
	EG-PH ocel	
	L1	L2
1 g	37,961 ± 0,873	40,228 ± 0,140
1,5 g	38,254 ± 1,059	40,680 ± 1,118
3 g	38,052 ± 1,478	39,497 ± 2,730

Při porovnávání hodnot bylo zjištěno, že jednotlivé hodnoty vzdáleností nejsou ve větší míře rozdílné. To znamená, že deformace neměnila svou vzdálenost od vrcholu v při změně množství maziva. U materiálu z DP oceli se výsledné hodnoty pohybovaly v menší vzdálenosti od vrcholu plechu než u plechu z EG-PH oceli, ale při hodnocení vzdáleností u plechů ze stejného materiálu se hodnoty pohybovaly v podobných číslech.

Maxima vzdáleností hodnot od středu se liší při porovnávání obou plechů, to je způsobeno kombinací mechanických vlastností materiálů a povrchových charakteristik plechu.

## 5. Závěr

Cílem diplomové práce bylo zjistit, zda má vliv množství maziva na proces tažení plechu karosérie automobilu. Kompletní průběh měření byl postupně popsán v experimentální části, kde se nejprve provedlo zjištění materiálových vlastností dvou testovaných plechů z DP a EG-PH oceli. Následně se provedlo tažení plechu polokulovým tažníkem s různými hodnotami množství maziva na povrchu plechu a se záznamem průběhu deformace pomocí fotogrammetrické metody. Zjištěno bylo, že se deformace neposouvá se změnou množství maziva, tudíž je lze říci, že množství maziva v testovaném rozsahu  $1 \text{ g/m}^2$  až  $3 \text{ g/m}^2$  na povrchu plechu nemá vliv na průběh tváření.

## Literatura

- [1] DAVIES, Geoff. *Materials for automobile bodies*. second edition. Amsterdam: Elsevier, 2012. ISBN 978-0-08-096979-4.
- [2] Svařitelnost ocelí pro automobilové karoserie | MM Průmyslové spektrum. [www.mmspektrum.com](http://www.mmspektrum.com) [online]. [vid. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/svaritelnost-oceli-pro-automobilove-karoserie>
- [3] SOLFRONK, Pavel. Vysoce pevnostní oceli. In: [online]. B.m. [vid. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://elearning.tul.cz/course/view.php?id=12660>
- [4] *Automobilová ocel - Znalosti* [online]. [vid. 2024-04-26]. Dostupné z: <http://cz.galvanized-sheets.com/info/automotive-steel-94173468.html>
- [5] What is the microstructure of low carbon steel? *Quora* [online]. [vid. 2024-05-06]. Dostupné z: <https://www.quora.com/What-is-the-microstructure-of-low-carbon-steel>
- [6] KO, Young Gun a Kotiba HAMAD. Development of Ultrafine Grain IF Steel via Differential Speed Rolling Technique. *Metals* [online]. 2021, **11**(12), 1925 [vid. 2024-05-06]. ISSN 2075-4701. Dostupné z: doi:10.3390/met11121925
- [7] High strength if steels. *SlideShare* [online]. 13. duben 2015 [vid. 2024-05-06]. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/slideshow/high-strength-if-steels/46955211>
- [8] *Practical Work: Steel microstructure — Scientific Python: a collection of science oriented python examples documentation* [online]. [vid. 2024-05-06]. Dostupné z: [https://scientific-python.readthedocs.io/en/latest/notebooks\\_rst/5\\_Image\\_Processing/04\\_Exercices/08\\_Image\\_Processing\\_Practical\\_Work.html](https://scientific-python.readthedocs.io/en/latest/notebooks_rst/5_Image_Processing/04_Exercices/08_Image_Processing_Practical_Work.html)
- [9] *Bake Hardening Steel - an overview* | *ScienceDirect Topics* [online]. [vid. 2024-05-06]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/bake-hardening-steel>
- [10] *Jaké oceli se používají v autech - COSASTEEL* [online]. 20. leden 2022 [vid. 2024-04-26]. Dostupné z: <https://cs.cosasteel.com/what-steels-are-used-in-cars/>
- [11] *Dual Phase Steels* [online]. [vid. 2024-05-06]. Dostupné z: <https://www.phase-trans.msm.cam.ac.uk/2008/dual.html>
- [12] *Ask an Expert: POSCO GIGA STEEL Opens Door to the Future of the Auto Industry* [online]. [vid. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://newsroom.posco.com/en/posco-giga-steel-opens-door-future-auto-industry/>
- [13] *TRIP and TWIP steels* [online]. [vid. 2024-05-06]. Dostupné z: [https://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/toughen/trip\\_steel.php](https://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/toughen/trip_steel.php)
- [14] *Martensitic (MART) Steels :: Total Materia Article* [online]. [vid. 2024-05-06]. Dostupné z: <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=kts&NM=564>

- [15] HICKEY, Kate. Twinning Induced Plasticity. *AHSS Guidelines* [online]. 1. duben 2021 [vid. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://ahssinsights.org/metallurgy/steel-grades/ahss/twinning-induced-plasticity/>
- [16] MAGAZINE@PMA.ORG, MetalForming Magazine. Third-Gen. AHSS, Press-Hardenable Steels Developed for Auto Applications. *MetalForming Magazine* [online]. [vid. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://www.metalformingmagazine.com/article/?/materials/high-strength-steel/third-gen-ahss-press-hardenable-steels-developed-for-auto-applications>
- [17] APPBUNDLE. *SLIMulations with martensitic steels* [online]. [vid. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://www.voestalpine.com/ultralights/en/Products/Cold-forming/martensitic-steels/SLIMulations-with-martensitic-steels>
- [18] Aluminium v automobilové branži. *MotoFocus.cz* [online]. 19. říjen 2015 [vid. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://motofocus.cz/jine-info-zajimavosti/6407,aluminium-v-automobilove-branzi>
- [19] Audi puts steel back in the new A8. *Green Car Congress* [online]. [vid. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://www.greencarcongress.com/2017/05/20170512-audia8.html>
- [20] *Automotive Uses of Magnesium Alloys: Part One :: Total Materia Article* [online]. [vid. 2024-04-26]. Dostupné z: <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=ktn&NM=246>
- [21] Akademie tváření: Hluboké tažení | MM Průmyslové spektrum. *www.mmspektrum.com* [online]. [vid. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-hlubo-ke-tazeni>
- [22] *Katedra tváření kovů a plastů - Skripta* [online]. [vid. 2024-04-24]. Dostupné z: [https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/09.htm](https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/09.htm)
- [23] *What is deep drawing? - Mubion* [online]. [vid. 2024-05-06]. Dostupné z: <https://www.mubion.com/en/news/11-what-is-deep-drawing>
- [24] LENFELD, Petr, TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI, KATEDRA STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE, a ODDĚLENÍ TVÁŘENÍ KOVŮ A PLASTŮ. *Technologie II.: Tváření kovů. Část 1*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. ISBN 978-80-7372-020-9.
- [25] SOLFRONK, Pavel. Technologie II (2020). In: [online]. B.m. [vid. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://elearning.tul.cz/course/view.php?id=6973>
- [26] *Deep drawing of sheet metal* [online]. [vid. 2024-04-26]. Dostupné z: <https://www.autoform.com/en/glossary/deep-drawing/>
- [27] *Katedra tváření kovů a plastů - Skripta-kovotlacení* [online]. [vid. 2024-04-24]. Dostupné z: [https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/10.htm](https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/10.htm)
- [28] *Katedra tváření kovů a plastů - Skripta-nekonvenční* [online]. [vid. 2024-04-24]. Dostupné z: [https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/11.htm](https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/11.htm)

- [29] BEČKA, Jan. ZÁKLADY TRIBOLOGIE [online]. nedatováno. Dostupné z: [https://users.fs.cvut.cz/~beckajan/predn\\_design\\_KON\\_I\\_2.pdf](https://users.fs.cvut.cz/~beckajan/predn_design_KON_I_2.pdf)
- [30] *Tribology - an overview* | *ScienceDirect Topics* [online]. [vid. 2024-04-26]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/tribology>
- [31] *Tribology - What is Tribology* | *STLE* [online]. [vid. 2024-04-26]. Dostupné z: [https://www.stle.org/files/About\\_STLE/Tribology/files/What\\_is\\_tribology/Tribology.aspx](https://www.stle.org/files/About_STLE/Tribology/files/What_is_tribology/Tribology.aspx)
- [32] LENARD, John G. 9 - Tribology. In: John G. LENARD, ed. *Primer on Flat Rolling (Second Edition)* [online]. Oxford: Elsevier, 2014 [vid. 2024-04-26], s. 193–266. ISBN 978-0-08-099418-5. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-08-099418-5.00009-3
- [33] SVOBODOVÁ, Magdaléna. Součásti točivého a přímočarého pohybu. In: [online]. B.m. prosinec 2012. Dostupné z: [https://www.sokolska.cz/DUMy/SPS,%20MEC,%20CAD/VY\\_32\\_INOVACE\\_14-02.pdf](https://www.sokolska.cz/DUMy/SPS,%20MEC,%20CAD/VY_32_INOVACE_14-02.pdf)
- [34] SHIVA. Wet and Dry Friction. *semesters.in* [online]. 17. květen 2015 [vid. 2024-04-26]. Dostupné z: <https://semesters.in/wet-and-dry-friction-for-btech-first-year-student/>
- [35] *Součásti k přenosu otáčivého pohybu* [online]. [vid. 2024-04-26]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/208/05.html>
- [36] *Tribology Lubrication* [online]. [vid. 2024-04-26]. Dostupné z: [https://www.stle.org/files/What\\_is\\_tribology/Tribology\\_Lubrication.aspx](https://www.stle.org/files/What_is_tribology/Tribology_Lubrication.aspx)
- [37] Mazací oleje. *ČAPPO - Česká asociace petrolejářského průmyslu a obchodu* [online]. [vid. 2024-04-26]. Dostupné z: <http://www.cappo.cz/pohonne-hmoty-a-energie-pro-mobilitu/mazaci-oleje>
- [38] *Bezkontaktní měření deformace a průtažnosti* | *JD Dvořák - Zkušební technika* [online]. [vid. 2024-04-26]. Dostupné z: <https://www.testsysteme.cz/mereni-deformace-prutaznosti-se-zamerenim-na-bezkontaktni-technologie>
- [39] *Bezkontaktní měřicí metody v experimentální mechanice* | *Katedra fyziky - Fakulta stavební ČVUT* [online]. [vid. 2024-04-26]. Dostupné z: <https://departments.fsv.cvut.cz/k102/doktorske-studium/bezkontaktni-merici-metody-v-experimentalni-mechanice?prezentace>
- [40] KELLER, Petr a Radomir MENDRICKY. PARAMETERS INFLUENCING THE PRECISION OF SLM PRODUCTION. *MM Science Journal* [online]. 2015, **2015**(03), 705–710 [vid. 2024-04-26]. ISSN 18031269, 18050476. Dostupné z: doi:10.17973/MMSJ.2015\_10\_201540
- [41] Creaform HandySCAN BLACK. *Aniwaa* [online]. [vid. 2024-04-26]. Dostupné z: <https://www.aniwaa.com/product/3d-scanners/creaform-handyscan-black/>



- [42] BÖHM, Jozef. *Fotogrammetrie* [online]. Dostupné z: <https://www.hgf.vsb.cz/export/sites/hgf/544/.content/galerie-souboru/skripta/Fotogrammetrie.pdf>
- [43] DOBROVOLNÝ, Petr. *Fotogrammetrie* [online]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/el/sci/podzim2009/Z8101/um/9030264/Fotogrammetrie\\_1.pdf](https://is.muni.cz/el/sci/podzim2009/Z8101/um/9030264/Fotogrammetrie_1.pdf)
- [44] PIRKLOVA. Fotogrammetria. In: [online]. B.m. Dostupné z: [https://kma.fp.tul.cz/images/stories/vyuka/pirklova-linearni\\_perspektiva/04Fotogrammetrie\\_LPE.pdf](https://kma.fp.tul.cz/images/stories/vyuka/pirklova-linearni_perspektiva/04Fotogrammetrie_LPE.pdf)
- [45] OLIVER. Jak vytvořit 3D model z fotogrammetrie. *DronProfi* [online]. 23. duben 2023 [vid. 2024-04-26]. Dostupné z: <https://dronprofi.eu/3d-model-z-fotogrammetrie/>
- [46] *ARAMIS Adjustable: The modular measuring system for 2D and 3D analysis* [online]. [vid. 2024-04-26]. Dostupné z: <https://www.gom.com/en/products/3d-testing/aramis-adjustable>
- [47] *BIMfo - Fotogrammetrie* [online]. [vid. 2024-04-26]. Dostupné z: <https://www.bimfo.cz/Aktuality/Fotogrammetrie.aspx>
- [48] *VDA 239-100 Flacherzeugnisse aus Stahl zur Kaltumformung* [online]. Dostupné z: <https://eshop.normservis.cz/norma/vda-239-100-1.5.2016.html>

## Seznam příloh

1. Výstup ze zkoušky tahem DP oceli pro směr válcování 0°.
2. Výstup ze zkoušky tahem DP oceli pro směr válcování 45°.
3. Výstup ze zkoušky tahem DP oceli pro směr válcování 90°.
4. Výstup ze zkoušky tahem EG-PH oceli pro směr válcování 0°.
5. Výstup ze zkoušky tahem EG-PH oceli pro směr válcování 0°.
6. Výstup ze zkoušky tahem EG-PH oceli pro směr válcování 0°.
7. Výstup ze statistického vyhodnocení ANOVA pro DP ocel.
8. Výstup ze statistického vyhodnocení ANOVA pro EG-PH ocel.

# STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

## EN ISO 6892-1

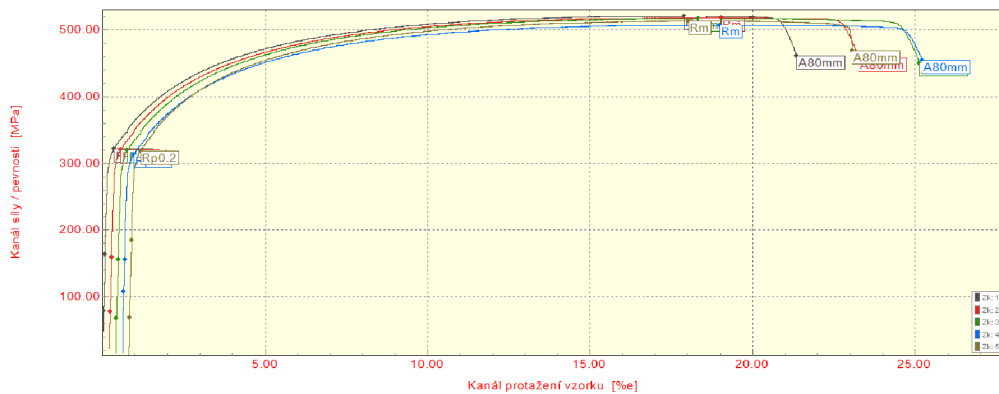
### VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : CR290Y490T-DP-E29/29-E-P-O  
 Rozměry vzorku : [0,55 x 20] mm  
 Směr odebrání vzorku : 0°  
 Teplota : RT  
 Deformační rychlost : 1 [15] mm/min.  
 Vypracoval : Bc. Adam Kaprál  
 Datum provedení testu : 26.3.2024  
 Pozn. :

### VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %	E MPa	R
1	321.7	519.9	17.64	21.13	207045	0.888
2	320.1	517.4	18.58	22.84	202323	0.859
3	319.7	516.3	17.65	24.49	187633	0.869
4	313.2	506.9	18.12	24.39	197725	0.843
5	317.9	512.5	16.97	22.02	201172	0.887

Statistika	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %	E MPa	R
Průměrná hodnota	318.5	514.6	17.79	22.97	199180	0.869
Směrodatná odchylka	3.3	5.0	0.60	1.47	7266	0.019
Minimální hodnota	313.2	506.9	16.97	21.13	187633	0.843
Maximální hodnota	321.7	519.9	18.58	24.49	207045	0.888



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
 Katedra strojírenské technologie  
 Oddělení tváření kovů a plastů  
 Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

# STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

## EN ISO 6892-1

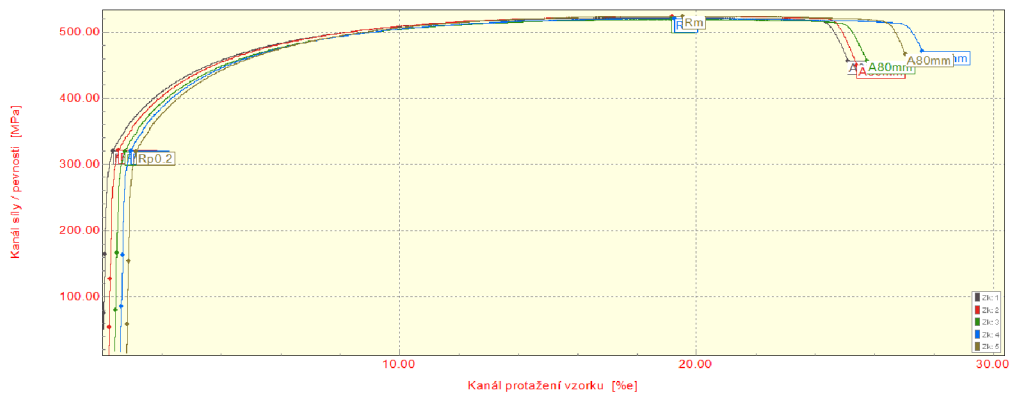
### VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : CR290Y490T-DP-E29/29-E-P-O  
 Rozměry vzorku : [0,55 x 20] mm  
 Směr odebrání vzorku : 45°  
 Teplota : RT  
 Deformační rychlost : 1 [15] mm/min.  
 Vypracoval : Bc. Adam Kaprál  
 Datum provedení testu : 26.3.2024  
 Pozn. :

### VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %	E MPa	R
1	320.0	521.4	18.93	24.87	207558	0.999
2	320.3	523.2	18.74	24.99	214011	1.001
3	318.8	518.5	18.52	25.12	210730	1.002
4	319.7	519.8	18.42	26.79	214866	1.026
5	319.4	523.7	18.51	26.01	215082	1.032

Statistika	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %	E MPa	R
Průměrná hodnota	319.6	521.3	18.62	25.55	212450	1.012
Směrodatná odchylka	0.6	2.2	0.21	0.82	3244	0.016
Minimální hodnota	318.8	518.5	18.42	24.87	207558	0.999
Maximální hodnota	320.3	523.7	18.93	26.79	215082	1.032



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
 Katedra strojírenské technologie  
 Oddělení tváření kovů a plastů  
 Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

# STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

## EN ISO 6892-1

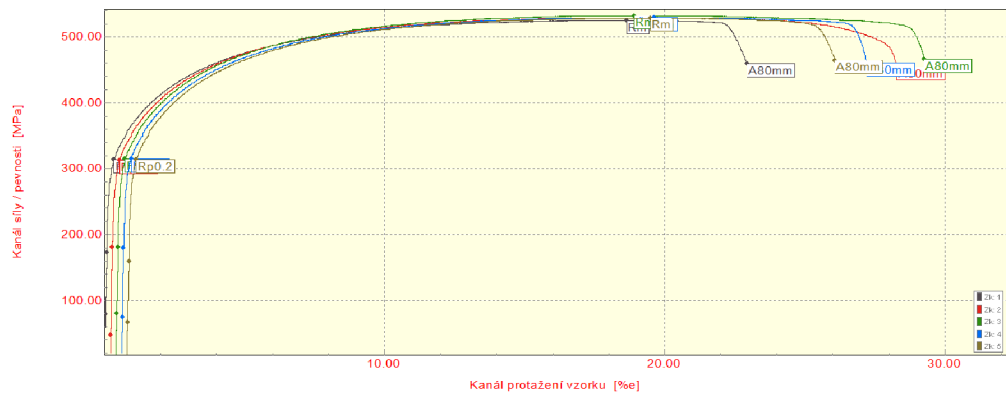
### VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : CR290Y490T-DP-E29/29-E-P-O  
 Rozměry vzorku : [0,55 x 20] mm  
 Směr odebrání vzorku : 90°  
 Teplota : RT  
 Deformační rychlost : 1 [15] mm/min.  
 Vypracoval : Bc. Adam Kaprál  
 Datum provedení testu : 26.3.2024  
 Pozn. :

### VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %	E MPa	R
1	314.1	525.0	18.39	22.72	221191	1.049
2	313.3	529.1	19.08	27.87	220764	1.051
3	314.9	532.2	18.27	28.66	219677	1.103
4	314.6	529.4	18.78	26.40	218708	1.078
5	314.2	528.7	18.45	25.07	227504	1.045

Statistika	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %	E MPa	R
Průměrná hodnota	314.2	528.9	18.59	26.15	221569	1.065
Směrodatná odchylka	0.6	2.6	0.33	2.36	3456	0.025
Minimální hodnota	313.3	525.0	18.27	22.72	218708	1.045
Maximální hodnota	314.9	532.2	19.08	28.66	227504	1.103



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
 Katedra strojírenské technologie  
 Oddělení tváření kovů a plastů  
 Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

# STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

## EN ISO 6892-1

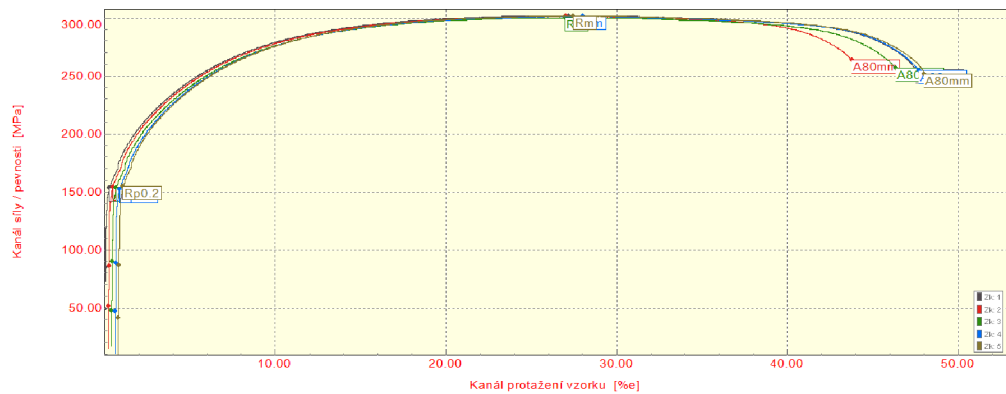
### VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : CR4EG29/29-E-P-O  
 Rozměry vzorku : [0,7 x 20] mm  
 Směr odebrání vzorku : 0°  
 Teplota : RT  
 Deformační rychlost : 1 [15] mm/min.  
 Vypracoval : Bc. Adam Kaprál  
 Datum provedení testu : 26.3.2024  
 Pozn. :

### VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %	E MPa	R
1	153.3	301.7	27.01	47.38	185946	1.955
2	154.1	301.2	26.63	43.41	186736	2.000
3	153.1	300.1	26.41	45.79	180271	2.021
4	152.2	301.1	27.24	46.92	180517	2.003
5	154.5	301.4	26.49	47.09	186131	1.952

Statistika	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %	E MPa	R
Průměrná hodnota	153.5	301.1	26.76	46.12	183920	1.986
Směrodatná odchylka	0.9	0.6	0.36	1.63	3234	0.031
Minimální hodnota	152.2	300.1	26.41	43.41	180271	1.952
Maximální hodnota	154.5	301.7	27.24	47.38	186736	2.021



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
 Katedra strojírenské technologie  
 Oddělení tváření kovů a plastů  
 Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

# STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

## EN ISO 6892-1

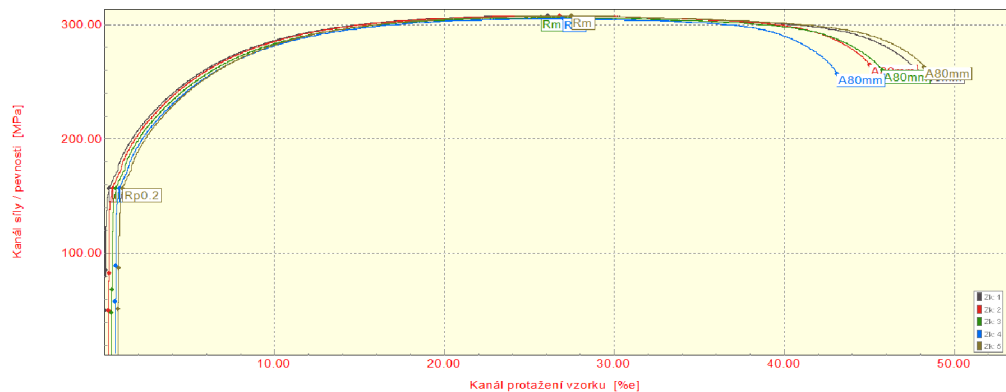
### VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : CR4EG29/29-E-P-O  
 Rozměry vzorku : [0,7 x 20] mm  
 Směr odebrání vzorku : 45°  
 Teplota : RT  
 Deformační rychlost : 1 [15] mm/min.  
 Vypracoval : Bc. Adam Kaprál  
 Datum provedení testu : 26.3.2024  
 Pozn. :

### VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %	E MPa	R
1	156.5	307.5	25.92	47.64	201041	1.958
2	156.9	307.5	26.46	44.70	209168	1.957
3	156.6	306.0	25.15	45.24	204917	1.903
4	156.6	305.1	26.23	42.38	199770	1.882
5	156.9	307.2	26.55	47.33	211302	1.930

Statistika	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %	E MPa	R
Průměrná hodnota	156.7	306.7	26.06	45.46	205239	1.926
Směrodatná odchylka	0.2	1.1	0.57	2.14	4996	0.033
Minimální hodnota	156.5	305.1	25.15	42.38	199770	1.882
Maximální hodnota	156.9	307.5	26.55	47.64	211302	1.958



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
 Katedra strojírenské technologie  
 Oddělení tváření kovů a plastů  
 Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ



# STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

## EN ISO 6892-1

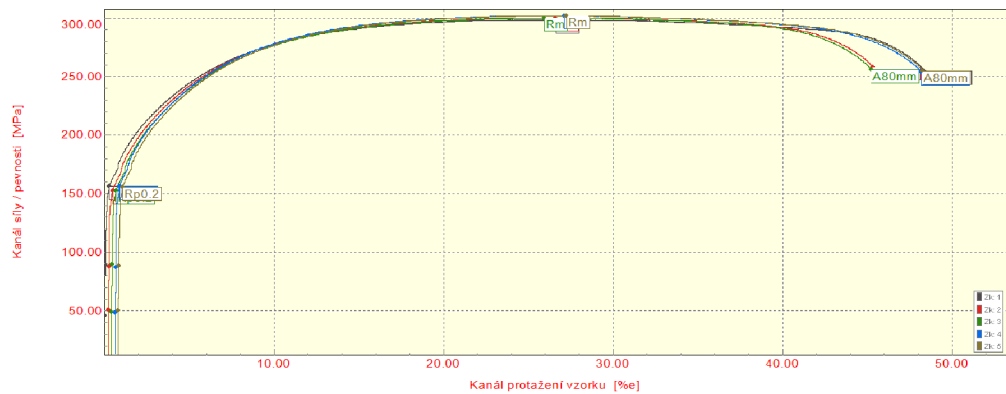
### VSTUPNÍ PARAMETRY

Název materiálu : CR4EG29/29-E-P-O  
 Rozměry vzorku : [0,7 x 20] mm  
 Směr odebrání vzorku : 90°  
 Teplota : RT  
 Deformační rychlost : 1 [15] mm/min.  
 Vypracoval : Bc. Adam Kaprál  
 Datum provedení testu : 26.3.2024  
 Pozn. :

### VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %	E MPa	R
1	156.0	298.8	26.50	48.24	191052	2.553
2	152.5	300.3	26.25	44.98	192645	2.632
3	152.6	300.1	25.40	44.71	193377	2.602
4	156.1	302.0	26.34	47.47	190101	2.654
5	156.0	302.0	26.32	47.34	192536	2.645

Statistika	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %	E MPa	R
Průměrná hodnota	154.6	300.6	26.16	46.55	191942	2.617
Směrodatná odchylka	1.9	1.4	0.44	1.60	1331	0.041
Minimální hodnota	152.5	298.8	25.40	44.71	190101	2.553
Maximální hodnota	156.1	302.0	26.50	48.24	193377	2.654



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
 Katedra strojírenské technologie  
 Oddělení tváření kovů a plastů  
 Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

## Příloha 7.

Anova: dva faktory s opakováním						
Faktor	1g	1,5g	3g	Celkem		
<i>L1</i>						
Počet	5	5	5	15		
Součet	157,154	158,395	154,899	470,448		
Průměr	31,4308	31,679	30,9798	31,3632		
Rozptyl	0,255031	0,027627	2,833207	0,979995		
<i>L2</i>						
Počet	5	5	5	15		
Součet	155,933	152,874	159,149	467,956		
Průměr	31,1866	30,5748	31,8298	31,19707		
Rozptyl	0,283284	0,018846	0,395155	0,480538		
<i>Celkem</i>						
Počet	10	10	10			
Součet	313,087	311,269	314,048			
Průměr	31,3087	31,1269	31,4048			
Rozptyl	0,255816	0,359337	1,635522			
ANOVA						
<i>Zdroj variability</i>	<i>SS</i>	<i>Rozdíl</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Hodnota P</i>	<i>F krit</i>
Výběr	0,207002	1	0,207002	0,325718	0,573497	4,259677
Sloupce	0,398383	2	0,199191	0,313428	0,733884	3,402826
Interakce	4,796476	2	2,398238	3,773633	0,037583	3,402826
Dohromady	15,2526	24	0,635525			
Celkem	20,65446	29				

Příloha 8.

Anova: dva faktory s opakováním						
Faktor	1g	1.5g	3g	Celkem		
<i>L1</i>						
Počet	5	5	5	15		
Součet	189,807	191,271	190,259	571,337		
Průměr	37,9614	38,2542	38,0518	38,08913		
Rozptyl	0,762883	1,121951	2,18261	1,178183		
<i>L2</i>						
Počet	5	5	5	15		
Součet	201,137	203,398	197,488	602,023		
Průměr	40,2274	40,6796	39,4976	40,13487		
Rozptyl	0,019634	1,250672	7,453391	2,746558		
<i>Celkem</i>						
Počet	10	10	10			
Součet	390,944	394,669	387,747			
Průměr	39,0944	39,4669	38,7747			
Rozptyl	1,774106	2,688545	4,863317			
ANOVA						
<i>Zdroj variability</i>	<i>SS</i>	<i>Rozdíl</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Hodnota P</i>	<i>F krit</i>
Výběr	31,38769	1	31,38769	14,72317	0,000794	4,259677
Sloupce	2,400351	2	1,200175	0,562972	0,576855	3,402826
Interakce	1,38146	2	0,69073	0,324004	0,726362	3,402826
Dohromady	51,16457	24	2,131857			
Celkem	86,33406	29				